

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

В.А. ВАСИЛЕНКО, Л.Г. ПРОСКУРИНА, И.В. ЕФРЕМОВ

ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ

РАСЧЕТЫ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Рекомендовано к изданию Редакционно - издательским советом государственного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2007

УДК 662.2(075.8)
ББК 24.54я73
В 19

Рецензент
кандидат технических наук, доцент В.П. Федорченко

В19 **Василенко, В.А.**
Горение и взрыв. Расчеты основных параметров: методические указания /
В.А. Василенко, Л.Г. Проскурина, И.В. Ефремов.- Оренбург: ГОУ ОГУ,
2007. -39 с.

В методических указаниях представлены задачи по основам термодинамики и молекулярной физики и по определению основных параметров горения, физического и химического взрывов. Даны ответы и пояснения к решению задач, справочный материал в приложениях с таблицами данных, необходимых при проведении расчетов.

Рекомендуется для студентов специальности 280101.65 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» при изучении дисциплины «Теория горения и взрыва».

ББК 24.54я73

© Василенко В.А.,
Проскурина Л.Г.,
Ефремов И.В., 2007
© ГОУ ОГУ, 2007

Содержание

1 Горение.....	39
1.1 Задачи по химическим реакциям горения.....	39
1.2 Задачи по определению пожароопасных свойств веществ и материалов.....	40
2 Взрыв.....	42
2.1 Определение параметров физического взрыва.....	43
2.2 Задачи по определению параметров химического взрыва.....	44
3 Пояснения к решению задач.....	46
3.1 Химические реакции горения.....	46
3.2 Определение пожароопасных свойств веществ и материалов.....	50
3.3 Параметры физического взрыва.....	53
3.4 Параметры химического взрыва.....	55
4 Общие методические указания к практической работе.....	58
5 Ответы к задачам.....	58
Список использованных источников.....	60
Приложение А.....	61
Справочные данные для проведения расчетов.....	61
Приложение Б.....	42
Таблица Б. 1 - Варианты заданий к расчету	42

1 Горение

Известно, что молекулы состоят из атомов. Например, молекула воды состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода. Молекулу можно разделить на атомы. Такое деление молекулы называют химической реакцией разложения. Для разделения молекулы на атомы нужно преодолеть силы притяжения атомов, значит, совершить работу, т. е. затратить энергию. Опыты показывают, что при соединении атомов в молекулу, происходящем при сжигании топлива, энергия, наоборот, выделяется.

На этом явлении и основано использование топлива. Обычное топливо (уголь, нефть, бензин и др.) содержит углерод. При горении атомы углерода соединяются с атомами кислорода, который содержится в воздухе. Каждый атом углерода соединяется с двумя атомами кислорода, образуя при этом молекулу оксида углерода (углекислого газа). При образовании этой молекулы выделяется энергия.

Горение дров, угля, нефти – это химическая реакция соединения этих веществ с кислородом воздуха.

Горением называется сложный физико-химический процесс, основой которого является быстропротекающая реакция окисления, сопровождающаяся выделением тепла и света.

Есть и другие трактовки термина «горение». Например, горение представляет собой сложный физико-химический процесс превращения горючих веществ и материалов в продукты горения, сопровождающийся выделением тепла и света. Или, «горением» называется физико-химический процесс, для которого характерны три признака:

- химическое превращение;
- выделение тепла;
- излучение света.

1.1 Задачи по химическим реакциям горения

1.1.1 Напишите уравнение реакции горения пиридина C_5H_5N и расставьте коэффициенты перед формулами реагирующих веществ в уравнении.

1.1.2 Напишите уравнение реакции горения ацетилена C_2H_2 и расставьте коэффициенты перед формулами веществ, вступающих в химическую реакцию.

1.1.3 Расставьте коэффициенты перед формулами реагирующих веществ при горении хлористого винила C_2H_3Cl , предварительно написав уравнение реакции горения.

1.1.4 Определите объем воздуха $[\varphi(O_2) = 21\%]$, необходимого для сгорания пиридина C_5H_5N массой 1,58 г.

1.1.5 Какая реакция является качественной на жидкие жиры (растительные масла)?

1.1.6 Для сварки и резки металлов используют газ, в котором массовая доля углерода и водорода соответственно: 92,31 % и 7,69 %. Определите молекулярную формулу газа, если плотность его по водороду равна 13.

1.1.7 Для сжигания 7 г ацетиленового углеводорода потребовалось 15,68 л кислорода. Выведите молекулярную формулу алкина.

1.1.8 При сжигании 4,1 г углеводорода получено 13,2 г оксида углерода и 4,5 г воды. Плотность паров вещества по водороду равна 41. Выведите молекулярную формулу вещества.

1.1.9 Рассчитайте массу кислорода, необходимого для полного сгорания 208 г ацетилена. Какая масса воздуха содержит эту массу кислорода? Массовая доля кислорода в воздухе составляет 23 %.

1.1.10 Определите молекулярную формулу углеводорода, содержащего 88,2 % углерода и 11,8 % водорода, если плотность его паров по гелию равна 17.

1.1.11 Определите молярную массу муравьиной кислоты $HCOOH$.

1.1.12 Определите массу воздуха, необходимого для сжигания 300 г ацетилена. Массовая доля кислорода в воздухе 21 %.

1.1.13 Чему равна плотность углекислого газа при температуре 30 °С и давлении $1,012 \cdot 10^5$ Па?

1.1.14 Чему равна плотность кислорода при температуре 27 °С и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па?

1.1.15 Найти изменение энтропии при превращении 1 кг воды при 20 °С в пар при 100 °С.

1.1.16 4 кг кислорода нагревают при постоянном объеме от 27 до 227 °С. Найти изменение энтропии, происшедшей при процессе.

1.1.17 Определите молярную массу спиртов: бутилового C_4H_9OH , амилового $C_5H_{11}OH$ и этилового C_2H_5OH .

1.1.18 Найти изменение энтропии при превращении 10 г льда при – 20 °С в пар при 100 °С.

1.1.19 Найти прирост энтропии при превращении 1 г воды при 0 °С в пар при 100 °С.

1.1.20 Найти изменение энтропии при плавлении 1 кг льда, находящегося при 0 °С.

1.1.21 Определить количество воздуха, необходимого для полного сгорания одного килограмма керосина. Теплота сгорания керосина 42,7 кДж/кг.

1.2 Задачи по определению пожароопасных свойств веществ и материалов

1.2.1 Рассчитать температуру вспышки толуола $C_6H_5-CH_3$. Температура кипения толуола 110,6 °С.

1.2.2 Рассчитать температуру вспышки диэтиламина $NH(C_2H_5)_2$, имеющего температуру кипения 55,2 °С и стандартную теплоту сгорания 2820 кДж/моль.

1.2.3 Определить температуру самовоспламенения и время нагрева до этой температуры кипы сена размером $0,8 \times 0,8 \times 0,8$ м.

1.2.4 Рассчитать температуру самовоспламенения кипы соломы размером $1,2 \times 1,2 \times 1,2$ м и продолжительность нагрева до этой температуры.

1.2.5 Определить температуру самовоспламенения тюка хлопка размером $0,8 \times 1,0 \times 1,5$ м и куска торфа размером $0,2 \times 1,0 \times 1,0$ м. Оценить опасность их хранения.

1.2.6 Определить нижний концентрационный предел воспламенения этана C_2H_6 при температуре $300^\circ C$ в процентах.

1.2.7 Определить значение нижнего и верхнего концентрационного предела воспламенения газовой смеси, состоящей из метана CH_4 - 9,5 %, диметиламина – $(CH_3)_2NH$ - 60,5 % и окиси углерода CO - 30,0 %.

1.2.8 Определить область воспламенения газовой смеси следующего состава: метан CH_4 – 80 %, этан CH_3CH_3 - 15 %, пропан $CH_3CH_2CH_3$ – 4 %, бутан $CH_3(CH_2)_2CH_3$ – 1 %, если известна область воспламенения каждого вещества.

1.2.9 Определить области воспламенения метана в условиях повышенной температуры, когда метано-воздушная смесь нагрета до $170^\circ C$. Область воспламенения метана при комнатной температуре ($+20^\circ C$) составляет нижний концентрационный предел - 4,5 %, верхний - 16,0 %.

1.2.10 Рассчитать значение нижнего концентрационного предела воспламенения окиси углерода в $г/м^3$, если значение этого параметра в объемных процентах составляет 12,8 % при $20^\circ C$.

1.2.11 Определить концентрационные пределы воспламенения горючей смеси (нижний и верхний) в процентах, если значения этих величин составляют в весовых единицах 5 $г/м^3$ и 14 $г/м^3$ и молярная масса соответственно 28 и 30.

1.2.12 На бетонном полу гаража разлито 2 л ($2 \cdot 0,73 = 1,46$ кг) бензина. Температура в гараже $20^\circ C$, давление атмосферное 101 кПа. Определить время, требующееся для испарения бензина и определить образовавшуюся концентрацию его паров, если объем гаража $90 м^3$.

1.2.13 Определить нижний предел взрываемости в $г/м^3$ смеси, состоящей из бензола и этилового спирта. Смесь содержит бензола 30 %, этилового спирта 70 %. Молярная масса бензола – 78,05, этилового спирта – 46,055. Нижний концентрационный предел взрываемости бензола 1,3 %, этилового спирта 3,56 %.

1.2.14 Определите максимальный КПД тепловой машины, если температура нагревателя равна $227^\circ C$, температура холодильника составляет $27^\circ C$.

1.2.15 Какой должна быть температура нагревателя для того, чтобы стало возможным достижение максимального значения КПД тепловой машины 80 % при температуре холодильника 300 К.

1.2.16 Определить нижний концентрационный предел воспламенения для пыли с выходом летучих веществ 20 % и содержанием негорючих веществ 10 %.

1.2.17 Определить концентрацию насыщенных паров спирта в бочке, если температура его 20 °С, атмосферное давление 101 кПа. Давление насыщенных паров спирта при 20 °С равно 5,9 кПа.

1.2.18 С помощью уравнения кривой «температура-время» определите температуру через 1, 1,5 и 4 часа стандартного режима, принятого для испытания строительных конструкций.

1.2.19 Определить йодное число масла, если 100 г масла поглощено 43 г йода. Установить склонность масла к самовозгоранию.

1.2.20 Определить концентрацию насыщенных паров в бочке с ацетоном, если температура его вспышки (температурный предел воспламенения) составляет + 13 °С (17,7 кПа).

2 Взрыв

Взрыв, в широком смысле этого слова, представляет собой процесс быстрого физического или химического превращения системы, сопровождающийся переходом ее потенциальной энергии в механическую работу.

Самым существенным признаком взрыва является резкий скачок давления в среде, окружающей место взрыва. Это служит непосредственной причиной разрушительного действия взрыва.

Взрывы могут быть вызваны различными физическими или химическими явлениями. Можно привести следующие примеры взрывов, обусловленных физическими причинами: «взрыв» парового котла или бомбы со сжатым газом.

В первом случае явление вызвано быстрым переходом перегретой воды в парообразное состояние, во втором – переходом сжатого газа в газообразное состояние.

Реакция, происходящая при химическом взрыве, это реакция распада, расщепления молекул на части. Например, из исходной молекулы нитроглицерина образуются молекулы углекислого газа, воды и азота. В составе продуктов реакции мы находим обычные продукты горения, но горение произошло без участия молекул кислорода воздуха – все необходимые для горения атомы содержатся внутри молекулы нитроглицерина.

Можно дать химическому взрыву и такое определение. Взрыв – это необратимая реакция превращения исходной смеси веществ в преимущественно газообразное состояние.

2.1 Определение параметров физического взрыва

2.1.1 Определить работу взрыва ресивера (воздухосборника) объемом в $1,5 \text{ м}^3$ при 10^6 Па .

2.1.2 Определить работу взрыва парового котла объемом 2 м^3 , наполненного водой до половины объема и рассчитанного на рабочее давление $1,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

2.1.3 Компрессор подает воздух в магистраль с давлением $P_2 = 0,5 \text{ МПа}$, давление воздуха до сжатия $P_1 = 0,1 \text{ МПа}$, начальная температура воздуха $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, показатель адиабаты $K = 1,4$. Определить конечную температуру воздуха, если сжатие происходит без охлаждения.

2.1.4 Компрессор подает воздух давлением $P_2 = 600 \text{ кПа}$ при начальном давлении сжимаемого воздуха $P_1 = 98 \text{ кПа}$ при температуре $T_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$. В компрессоре применяется компрессорное масло марки 12 (М) с температурой вспышки $t_{всп} = 216 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить температуру сжатого воздуха и сделать заключение о возможности эксплуатации компрессора без охлаждения, если согласно правилам устройства и безопасной эксплуатации воздушных компрессоров разница между температурой вспышки и температурой сжатого воздуха должна быть не менее $75 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.1.5 Газ имел начальную температуру $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и давление 1 атм . Как изменится давление газа при температуре $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ и том же объеме?

2.1.6 По условиям задачи 2.1.5 как изменится давление воздуха при температуре $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ и том же объеме?

2.1.7 Одноступенчатый компрессор подает воздух в магистраль под давлением $P_2 = 1,5 \text{ МПа}$, давление воздуха до сжатия $P_1 = 0,1 \text{ МПа}$, начальная температура сжимаемого воздуха $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, показатель адиабаты $K = 1,4$. Определить конечную температуру воздуха, если сжатие происходит без охлаждения; установить степень опасности взрыва паров компрессорного масла, если температура паров данного масла 454 К .

2.1.8 Давление воздуха и температура до сжатия в компрессоре составляет 101 кПа и 293 К . Какое давление воздуха в компрессоре, если его температура составила 593 К ?

2.1.9 Определить толщину стенки баллона для хранения и использования углекислого газа давлением внутри сосуда $2,0 \text{ МПа}$.

2.1.10 Определить давление, которое могут выдержать стенки стального баллона толщиной 25 мм и внутренним диаметром 200 мм .

2.1.11 Каков может быть наименьший объем баллона, вмещающего $6,4 \text{ кг}$ кислорода, если его стенки при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ выдерживают давление в $16 \cdot 10^6 \text{ кПа}$.

2.1.12 Воздух в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания сжимается адиабатически и его давление при этом изменяется от $P_1 = 10^5 \text{ Па}$ до $P_2 =$

$35 \cdot 10^5$ Па. Начальная температура воздуха 40°C . Найти температуру воздуха в конце сжатия.

2.1.13 Двухатомный газ, находящийся при температуре 27°C и давлении $2 \cdot 10^6$ Па сжимается адиабатически от объема V_1 до объема $V_2 = 0,5 \cdot V_1$. Найти температуру и давление после сжатия.

2.1.14 Кислород объемом $7,5$ л адиабатически сжимается до 1 л, причем в конце сжатия давление установилось $1,6 \cdot 10^6$ Па. Под каким давлением находился газ до сжатия?

2.1.15 Давление воздуха внутри плотно закупоренной бутылки при температуре 7°C было равно 10^5 Па. При нагревании бутылки пробка вылетела. Найти до какой температуры нагрели бутылку, если известно, что пробка вылетела при давлении воздуха в бутылке $1,3 \cdot 10^5$ Па.

2.1.16 В цилиндрах карбюраторного двигателя внутреннего сгорания газ сжимается политропически так, что после сжатия температура газа становится равной 427°C . Начальная температура 140°C . Коэффициент сжатия - $5,8$. Чему равен показатель политропы?

2.1.17 Воздух объемом 10 л адиабатически сжимается до 2 л. Под каким давлением находился газ до сжатия, если в конце сжатия давление установилось $1,8 \cdot 10^6$ Па?

2.1.18 Сколько пара образуется при разрушении котла, если температура перегретой воды составляла 138°C , а объем котла $1,7 \text{ м}^3$.

2.1.19 Сколько воздуха образуется при разрушении баллона емкостью 40 л при давлении $15 \cdot 10^6$ Па.

2.1.20 Воздух в цилиндрах двигателя внутреннего сгорания сжимается адиабатически, и его давление при этом изменяется от $1,013 \cdot 10^6$ до $35,455 \cdot 10^6$ Па. Температура воздуха в конце сжатия оказалась равной 592°C . Найти начальную температуру воздуха.

2.1.21 Во сколько раз нужно увеличить давление горючей смеси в двигателе Дизеля, чтобы она воспламенилась? Температура воспламенения смеси 800°C , начальная температура 70°C . Горючую смесь считать многоатомным газом.

2.1.22 Воздух, занимавший объем 20 л при нормальном атмосферном давлении, адиабатически сжимается до объема 2 л. Определить давление воздуха после сжатия.

2.2 Задачи по определению параметров химического взрыва

2.2.1 Определить степень разрушения наземных резервуаров с ГСМ при взрыве заряда с тротилом массой $m = 100$ кг, на расстоянии 25 м.

2.2.2 Определить эффективную массу 150 кг взрывчатого вещества гексогена, приведенную к тротилу. Подстилающая поверхность - железобетон, коэффициент эффективности по отношению к тротилу - $1,31$.

2.2.3 По величине избыточного давления во фронте ударной волны определить степень разрушения зданий, сооружений при взрыве 100 кг тротила на удалении 15 м.

2.2.4 Определить приведенное расстояние $R_{пр}$ при взрыве 50 кг динамита и удалении объекта от центра взрыва на 10 м.

2.2.5 Определите избыточное давление во фронте ударной волны ΔP_{ϕ} при взрыве октогена и значении приведенного расстояния 7,4.

2.2.6 Определить безопасное расстояние $r_{д}$ по передаче детонации между двумя хранилищами, из которых одно обвалованное, предназначено для 120 т тротила, второе, необвалованное для 240 т гранулита.

2.2.7 На территории склада ВМ необходимо разместить открытое хранилище тротила на 120 т и открытое хранилище на 500000 электродетонаторов (капсулей детонаторов). Определить безопасное расстояние по передаче детонации $r_{д}$ между хранилищами.

2.2.8 Определить безопасное расстояние для зданий и сооружений по действию ударной волны при взрыве на земной поверхности 25 т аммонита.

2.2.9 Определить безопасное расстояние по действию взрыва на человека от места взрыва при взрыве наружного заряда октогена массой 120 т.

2.2.10 Определить безопасное расстояние по действию ударной волны на человека при взрыве наружного заряда гексогена массой 20 кг.

2.2.11 Определить радиус воронки и ее объем при наружном взрыве 100 т гексогена.

2.2.12 Какое количество аммиачной селитры необходимо для образования в грунте воронки радиусом 23 м?

2.2.13 Какое количество пороха необходимо для образования воронки в наружном грунте диаметром 16 м?

2.2.14 Определить объем воронки в грунте при взрыве 50 т тэна.

2.2.15 Определить массу аммиачной селитры, участвующей во взрыве, если объем образовавшейся воронки составляет 5000 м³.

2.2.16 Определить объем воронки в грунте при взрыве 100 кг октогена.

2.2.17 Определить радиус воронки, образовавшейся при взрыве 75 кг аммонита.

2.2.18 Определить приведенное расстояние при взрыве 150 кг аммиачной селитры и дать пояснение определению «приведенное расстояние».

2.2.19 Определить избыточное давление во фронте ударной волны ΔP_{ϕ} при взрыве пороха, если приведенное расстояние составляет 2,2.

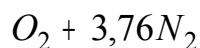
2.2.20 Определить количество аммиачной селитры, участвующей во взрыве, если радиус образовавшейся воронки составляет 8 м.

3 Пояснения к решению задач

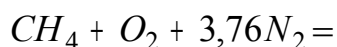
3.1 Химические реакции горения

При составлении уравнений химических реакций горения веществ в воздухе поступают следующим образом: горючее вещество и участвующий в горении воздух записывают в левой части уравнения, после знака равенства пишут образующиеся продукты реакции. Например, необходимо составить реакцию горения метана в воздухе. Сначала записывают левую часть уравнения реакции: химическую формулу метана плюс химические формулы веществ, входящих в состав воздуха. Для простоты расчетов принимают, что воздух состоит из кислорода (21 %) и азота (79 %), т.е. на один объем кислорода в воздухе приходится $\frac{79}{21} = 3,76$ объема азота, или на каждую молекулу кислорода приходится 3,76 молекулы азота.

Таким образом, состав воздуха может быть представлен так:

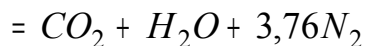


Тогда левая часть уравнения будет иметь вид



Какие продукты получатся в результате этой химической реакции?

Ориентироваться нужно на состав горючего вещества. Углерод горючего всегда при полном сгорании превращается в двуокись углерода (CO_2), водород – в воду (H_2O). Так как в данном горючем веществе нет других элементов, то в продуктах сгорания будет двуокись углерода и вода. Азот воздуха ($3,76N_2$) в процессе горения участия не принимает, он целиком перейдет в продукты сгорания. Таким образом, правая часть уравнения реакции сгорания метана будет следующей

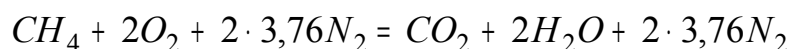


Написав левую и правую части, необходимо уравнивать коэффициенты перед формулами. Известно, что суммарная масса веществ, вступивших в реакцию, должна быть равна массе всех веществ, получившихся в результате реакции.

Это означает, что число атомов одного и того же элемента в правой и левой части уравнения должно быть одинаковым, независимо от того, в состав какого вещества этот элемент входит. Сначала уравнивают число атомов углерода, за тем водорода, потом кислорода. Множитель перед коэффициентом

(3,76), поставленный у молекулы азота, всегда будет равен коэффициенту перед кислородом.

Уравнение реакции будет иметь вид



Учитывая, что расчет ведут обычно на 1 моль или 1 м³ вещества, в уравнении реакции коэффициент перед горючим веществом не ставят. В связи с этим в некоторых уравнениях реакций горения могут появиться перед кислородом или другим веществом дробные коэффициенты. Если в состав горючего вещества, кроме углерода и водорода, входит азот, то он выделяется при горении в свободном виде (N_2). Если в состав горючего вещества входит хлор, то он при горении обычно выделяется в виде хлористого водорода (HCl). Сера, входящая в состав горючего вещества, выделяется в виде SO_2 . Содержащийся в горючем веществе кислород выделяется в виде соединений с другими элементами горючего, например CO_2 или H_2O , в свободном виде он не выделяется.

При решении задач по основам теории горения и взрыва и пожарной безопасности необходимо опираться на следующие определения и положения.

Моль - количество вещества, в котором содержится столько же атомов или молекул, сколько атомов углерода содержится в 0,012 кг углерода ^{12}C .

Число молекул в 1 моле называют постоянной Авогадро $N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Молярная масса – масса 1 моля вещества, равная отношению массы молекулы к 1/12 массы молекулы углерода, определяется по периодической системе элементов Д.И. Менделеева с учетом формулы вещества. Например, молярная масса метана CH_4 составляет 16 (12 - углерода, 4 - водорода).

Объем воздуха, необходимый для сгорания определенного количества горючего вещества устанавливается в следующем порядке:

- составляется уравнение реакции горючего вещества в воздухе, и рассчитываются коэффициенты перед реагентами;

- определяется теоретически необходимый объем воздуха, V_B^0 , м³ при нормальных условиях

$$V_B^0 = \frac{106,6 \cdot n}{m \cdot M}, \quad (3.1)$$

где n - количество кислорода, кмоль;

m - количество горючего вещества, кмоль;

M - молярная масса, кг/моль;

- корректируется этот объем для конкретных условий

$$V_B = \frac{V_B^0 \cdot T \cdot 760}{273 \cdot P}, \quad (3.2)$$

где T - температура, К;

P - атмосферное давление, Па (мм рт. ст.).

Для сгорания 1 кг горючего вещества необходимое количество воздуха V , м³ можно рассчитывать по формуле

$$V = \frac{1,12 \cdot Q}{4,19 \cdot 1000}, \quad (3.3)$$

где Q - теплотворная способность горючего вещества, Дж/кг.

Плотность газа D по определенному газу устанавливается из выражения

$$D = \frac{M_u}{M}, \quad (3.4)$$

где M_u - молярная масса исследуемого газа, кг/моль;

M - молярная масса газа, по которому определяется плотность кг/моль.

Энтропия (от гр. entropia –поворот, превращение) - функция состояния термодинамической системы, характеризующая направление протекания процесса теплообмена между системой и внешней средой. Это особая физическая величина характеризует в обычно наблюдаемых нами явлениях и процессах рассеяние, обесценение энергии, заключающееся в переходе всех видов энергии в тепловую и равномерном распределении последней между всеми телами природы. При всех процессах, совершающихся в замкнутых системах, энтропия или возрастает (необратимые процессы) или остается постоянной (обратимые процессы). Понятие введено для определения меры необратимого рассеяния энергии. Единица энтропии – джоуль на кельвин (Дж/К).

Разность энтропий $S_B - S_A$ двух состояний В и А определяется формулой

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}, \quad (3.5)$$

где S_B и S_A - значение энтропии в состоянии В и А.

dQ - количество теплоты, Дж;

T - температура, К;

Пример решения задачи 1.1.18

Изменение энтропии определяется формулой

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T},$$

где S_1 и S_2 - значения энтропии соответственно в первом и во втором состояниях. Общее изменение энтропии в данном случае складывается из изменений ее в отдельных процессах.

Процесс I. Масса льда m , кг нагревается от температуры T_1 до температуры T_2 . При этом

$$dQ = mc_1 dT,$$

где c_1 - удельная теплоемкость льда, Дж/(кг·К).

Находим ΔS_1 по формуле

$$\Delta S_1 = mc_1 \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (3.6)$$

Процесс II. Плавление массы льда m , кг происходит при температуре T_2

$$\int dQ = m\lambda,$$

где λ - удельная теплота плавления льда, Дж/кг.

$$\Delta S_2 = \frac{m\lambda}{T_2}. \quad (3.7)$$

Процесс III. Нагревание массы воды m , кг от температуры T_2 до температуры T_3

$$\Delta S_3 = mc_2 \ln \frac{T_3}{T_2}, \quad (3.8)$$

где c_2 - удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К).

Процесс IV. Испарение массы воды m , кг происходит при температуре

T_3

$$\Delta S_4 = \frac{mr}{T_3}, \quad (3.9)$$

где r - удельная теплота парообразования, Дж/кг.

Значения c_1 , c_2 , λ , и r находим из таблиц А.17, А.18, и А.19 (приложение А).

Общее изменение энтропии

$$\Delta S = m \left(c_1 \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{\lambda}{T_2} + c_2 \ln \frac{T_3}{T_2} + \frac{r}{T_3} \right). \quad (3.10)$$

В исходной задаче:

$$m = 0,01 \text{ кг}, \quad c_1 = 2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}, \quad c_2 = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)},$$

$$\lambda = 3,35 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}, \quad r = 2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}, \quad T_1 = 253 \text{ К}, \quad T_2 = 273 \text{ К}, \quad T_3 = 373 \text{ К}.$$

Подставляя эти данные в формулу 3.10 получим $\Delta S = 88 \text{ Дж/К}$.

3.2 Определение пожароопасных свойств веществ и материалов

Безопасные способы транспортировки, хранения и переработки горючих веществ возможны на основе знания их пожароопасных характеристик. Однако темпы экспериментального определения показателей пожароопасности значительно отстают от потребностей практики и требуют материальных затрат для их осуществления.

Необходимые данные, кроме того, могут быть получены расчетным путем с использованием эмпирических и полуэмпирических соотношений.

Рекомендуемые расчетные методы по точности не уступают экспериментальным. В ряде случаев они являются единственной возможностью получения количественных характеристик пожаровзрывоопасности новых веществ.

Температура вспышки веществ $t_{всп}$, молекулы которых содержат различные структурные группы, рассчитывается по формуле

$$t_{всп} = -73,14 + 0,659 \cdot t_{кип} + \sum_{i=2}^g a_i I_i, \quad (3.11)$$

где $t_{кип}$ - температура кипения жидкости при 101 кПа, °С;

I_i - число структурных групп i -го вида в молекуле;

a_i - эмпирические коэффициенты, значения которых приведены в приложении А (таблица А.14).

Для органических соединений, молекулы которых состоят из атомов С, Н, О и N, а также для галоидоорганических и элементоорганических

соединений, содержащих атомы S , Si , P и Cl , температура вспышки рассчитывается по формуле

$$t_{всп} = c_0 + c_1 \cdot t_{кип} + c_2 \cdot \Delta H_{сг}, \quad (3.12)$$

где c_0, c_1, c_2 - эмпирические коэффициенты, соответствующие различным классам соединений, значения которых приведены в приложении А (таблица А.15);

$\Delta H_{сг}$ - стандартная температура сгорания вещества, кДж/моль.

Наиболее точно величина $t_{всп}$ рассчитывается по линейной зависимости температуры вспышки от температуры кипения, выполняющейся в пределах отдельных классов химических соединений

$$t_{всп} = \alpha + \beta \cdot t_{кип} \quad (3.13)$$

Значения коэффициентов α и β для различных классов органических соединений приведены в приложении А (таблица А.16).

Температура воспламенения веществ, в молекулах которых содержится структурные группы, представленные в приложении А (таблица А.14) рассчитывается по формуле

$$t_{восп} = -47,79 + 0,882 \cdot t_{кип} + \sum_{j=2}^g a_j l_j, \quad (3.14)$$

где a_j -

эмпирический коэффициент, зависящий от структурных групп;

l_j - число структурных групп j -го вида в молекуле.

Значение нижнего концентрационного предела воспламенения газа при повышенной температуре может быть определено по формуле

$$П_{T_2} = П_{T_1} \cdot \left(1 - \frac{T_2 - T_1}{T_G - T_1} \right), \quad (3.15)$$

где $П_{T_2}$ - значение нижнего концентрационного предела воспламенения при температуре T_2 , г/м³;

$П_{T_1}$ - значение нижнего концентрационного предела воспламенения при температуре T_1 , г/м³;

T_1, T_2 - начальная и конечная температура, К;

T_G - температура горения газа при концентрации, равной нижнему пределу, К.

Для сложной газопаровоздушной смеси известного состава пределы воспламенения можно подсчитать по формуле Ле-Шателье

$$P = \frac{100}{\frac{C_1}{n_1} + \frac{C_2}{n_2} + \dots + \frac{C_n}{n_n}}, \quad (3.16)$$

где P - предел воспламенения смеси, %;

$C_1, C_2 \dots C_n$ - концентрация горючих компонентов в смеси, %, причем $C_1 + C_2 + \dots + C_n = 100$ (%);

$n_1, n_2 \dots n_n$ - соответствующие пределы воспламенения чистых компонентов смеси, %.

При вычислении пределов в концентрациях по массе заменяют соответствующие величины горючих компонентов процентами по массе.

Перевод концентраций по массе производится в концентрации в процентах по следующим формулам

$$P_1 = \frac{273 \cdot M \cdot P_2}{2,24 \cdot T}, \quad (3.17)$$

$$P_2 = \frac{22,4 \cdot T \cdot P_1}{273 \cdot M}, \quad (3.18)$$

где P_1 - предел концентрации по массе, в г/м³;

M - молярная масса горючего, кг/моль;

P_2 - предел концентрации по объему, в %;

2,24 - объем моля газа, м³;

T - термодинамическая температура, К.

Зависимость нижнего предела взрываемости угольной пыли от выхода в ней летучих веществ с достаточной для практики точностью выражается эмпирическим соотношением

$$K = 53,3 \exp(-0,045 \cdot V) + 1,4 \exp(-0,032) \cdot A, \quad (3.19)$$

где K - нижний концентрационный предел взрываемости пыли, г/м³;

V - выход летучих веществ, %;

A - содержание негорючих веществ в пыли, %.

Для пластов угля с выходом летучих веществ 15 % и более нижний концентрационный предел взрываемости можно определить по номограмме, приведенной в специальной литературе.

3.3 Параметры физического взрыва

Физический взрыв возникает вследствие разрушения стенок резервуара и его разрушительной эффект зависит от давления, под которым находились пары и газы в резервуаре. Кроме того, повышается температура сжижаемого газа.

$$T_2 = T_1 \cdot \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{\frac{m-1}{m}}, \quad (3.20)$$

где T_2 - температура газа после сжатия, К;
 T_1 - температура газа до сжатия, К;
 P_2 - давление газа после сжатия, кПа;
 P_1 - давление газа до сжатия, кПа;
 m - показатель политропы (для воздуха $m=1,41$).

При взрыве происходит адиабатическое расширение находящегося в нем газа, работа которого в этом случае может быть определена по формуле

$$A = \frac{P_1 \cdot V}{m-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right], \quad (3.21)$$

где A - работа расширяющегося газа, Дж;
 V - объем сосуда, м³;
 P_1 и P_2 - начальное конечное (атмосферное) давление газа в сосуде, Па;

m - показатель адиабаты $\frac{c_p}{c_v}$ - отношение удельной теплоемкости газа при постоянном давлении c_p , Дж/(кг·К) к удельной теплоемкости при постоянном объеме, c_v , Дж/(кг·К).

Мощность взрыва (кВт) определяют по формуле

$$N = \frac{A}{102 \cdot t}, \quad (3.22)$$

где 102 – коэффициент перевода размерности кг·м/с в кВт;
 t - продолжительность взрыва, с.

В случае механического разрушения стенок парового котла нарушается внутреннее равновесие в котле, и происходит внезапное падение давления до атмосферного. Перегретая вода с той же скоростью превращается в пар. При

этом из 1 м³ воды образуется 1725 м³ пара, что приводит к резкому повышению давления и разрушению котла.

Аналогичные явления происходят и при упуске воды в котле, которая мгновенно превращается в пар, если ее добавляют.

Номинальную толщину стенки барабана или прямой камеры рассчитывают по одной из следующих формул:

- при номинальном наружном диаметре

$$S = \frac{pD_n}{2,04\varphi\sigma_d + p} + C, \quad (3.23)$$

- при номинальном внутреннем диаметре

$$S = \frac{pD_e}{2,04\varphi\sigma_d + p} + C, \quad (3.24)$$

где S - толщина стенки, мм;

p - расчетное давление внутри сосуда, МПа;

D_n, D_e - номинальные наружный и внутренний диаметры барабана, камеры, трубы, мм;

φ - коэффициент прочности сварного шва: для углеродистой, низколегированной, марганцовистой, хромомолибденовой и аустенистой стали $\varphi = 1$; для хромнизколегированной марганцовистой стали в зависимости от способа сварки – при автоматической двухсторонней сварке под флюсом, контактной сварке, односторонней ручной и автоматической сварке под флюсом, электрошлаковой сварке, ручной сварке в атмосфере углекислого газа и аргонодуговой сварке $\varphi = 0,85$, при всех других видах ручной электрической и газовой сварки $\varphi = 0,07$;

σ_d - нормальное допускаемое напряжение, МПа (приложение А, таблица А.7);

C - прибавка к расчетной толщине стенки, мм: для барабанов и камер, свариваемых из листа или кованных с последующей механической обработкой при толщине листа не более 20 мм, $C=1$; при толщине листа более 20 мм $C=0$; если наибольший минусовой допуск по толщине листа превышает 3 % номинальной толщины, то в прибавке C должно быть учтено это превышение.

Расчетные формулы пригодны при соблюдении следующих условий:

- для барабанов и камер, содержащих воду, пароводяную смесь или насыщенный пар

$$\frac{S - C}{D_n} \leq 0,18 \quad \text{или} \quad \frac{S - C}{D_e} \leq 0,28; \quad (3.25)$$

- для камер, содержащих перегретый пар

$$\frac{S - C}{D_n} \leq 0,28 \text{ или } \frac{S - C}{D_{\phi}} \leq 0,64. \quad (3.26)$$

Давление газа и его объем связаны при адиабатическом процессе уравнением Пуассона

$$P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n, \quad (3.27)$$

где P_1, P_2 - начальное и конечное давление, Па;
 V_1, V_2 - начальный и конечный объем, м³;
 n - показатель политропы.

3.4 Параметры химического взрыва

Главной опасностью всех взрывов является воздушная ударная волна. Методика определения избыточного давления ΔP_{ϕ} во фронте ударной волны заключается в следующем.

1 Определяется эффективная масса взрывчатого вещества $C_{\text{эф}}$, кг, приведенного к тротилу

$$C_{\text{эф}} = 2 \cdot \eta \cdot K_{\text{эф}} \cdot C, \quad (3.28)$$

где η - коэффициент, учитывающий свойства подстилающей поверхности под зарядом взрывчатого вещества (приложение А, таблица А.6);

$K_{\text{эф}}$ - эффективный коэффициент взрывчатого вещества по отношению к тротилу (приложение А, таблица А.2);

C - масса взрывчатого вещества, кг.

2 Вычисляется приведенное расстояние R_{np} , м/кг^{1/3}

$$R_{np} = \frac{r}{\sqrt[3]{C_{\text{эф}}}}, \quad (3.29)$$

где r - расстояние до центра взрыва, м;

$C_{\text{эф}}$ - эффективная масса взрывчатого вещества, приведенная к тротилу, кг.

3 Определяется избыточное давление ΔP_{ϕ} , Па во фронте ударной волны:

- при $R_{np} < 6,2$ м/кг^{1/3}

$$\Delta P_{\phi} = \frac{7}{3} \cdot \left(\sqrt[3]{1 + R_{np}^3} - 1 \right), \quad (3.30)$$

- при $R_{np} > 6,2 \text{ м/кг}^{1/3}$

$$\Delta P_{\phi} = \frac{0,7}{R_{np}} \cdot \left(\sqrt{1g R_{np} - 0,332} \right). \quad (3.31)$$

4 По полученному значению ΔP_{ϕ} по таблицам А.3, А.4, А.5 приложения А оценивается степень разрушения здания.

Известны также зависимости радиуса воронки R , м и объема V , м³ от массы тротилового наружного заряда C , кг

$$R = K \cdot C^{0,33} = K \cdot \sqrt[3]{C}, \quad (3.32)$$

$$V = 40 \cdot C_{\text{эф}}, \quad (3.33)$$

где K - коэффициент, учитывающий плотность грунта (для мягких грунтов $K = 4 - 5$);

$C_{\text{эф}}$ - эффективная масса взрывчато вещества, приведенная к тротилу.

Для получения образовавшихся воронок масса тротила C , кг должна быть

$$C = \left(\frac{R}{K} \right)^3, \quad (3.34)$$

где R - радиуса воронки, м;

K - коэффициент, учитывающий плотность грунта.

Расстояние r_d , м, исключаяющее возможность передачи детонации от взрыва на земной поверхности одного объекта со взрывчатыми материалами (активного заряда) к другому объекту (пассивному заряду) определяется по формуле

$$r_d = K_d \sqrt[3]{Q} \cdot \sqrt[4]{b}, \quad (3.35)$$

где r_d - безопасное расстояние от центра активного заряда до поверхности пассивного заряда, м;

K_d - коэффициент, значение которого зависит от вида взрывчатых материалов зарядов и условий взрыва (приложение А, таблица А.9);

Q - масса взрывчатых веществ активного заряда, кг;

b - наименьший линейный размер пассивного заряда (ширина штабеля), м.

К объектам повышенной опасности относятся:

- хранилища средств инициирования;
- пункты растаривания и изготовления взрывчатых веществ;
- бункеры со взрывчатыми веществами и т.п.

При расчетах расстояний, исключающих возможность передачи детонации от взрыва одного объекта (активного заряда) к другому (пассивному) в качестве активного заряда принимаются взрывчатые материалы, находящиеся на объектах повышенной опасности.

Безопасные расстояния по действию воздушной волны при взрыве на земной поверхности для зданий и сооружений r_B , м, рассчитываются по формулам:

$$\text{- при } Q > 10 \text{ т} \quad r_B = K_B \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (3.36)$$

$$\text{- при } Q < 10 \text{ т} \quad r_B = k_B \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (3.37)$$

где Q - масса заряда взрывчатых веществ, кг;

K_B, k_B - коэффициенты пропорциональности, зависящие от условий расположения и массы заряда, а также от степени допускаемых повреждений зданий и сооружений (приложение А, таблица А.12).

Расстояние r_{\min} , м, безопасное по действию на человека ударной воздушной волны наружного заряда определяется по формуле

$$r_{\min} = 15 \cdot \sqrt[3]{Q}, \quad (3.38)$$

где Q - масса наружного заряда взрывчатых веществ, кг.

Формула используется только, если по условиям работ необходимо максимально е приближение персонала, производящего взрывание, к месту взрыва. В остиальных случаях полученное по формуле расстояние следует увеличить в 2-3 раза.

При наличии блиндажей расстояние, вычисленное по формуле, сокращается в 1,5 раза.

Зоной пожаров называют территорию, в пределах которой распространяются пожары.

Основные характеристики пожара:

- интенсивность теплового излучения I , Дж/(м²·с);

- удельная теплота сгорания q , кДж/кг;
- удельная теплота пожара q_o , кДж/(м²·с).

На практике для расчета безопасного расстояния от различных очагов пожара $R_{без}$, м применяют соотношение

$$R_{без} = R_* \cdot \sqrt{\frac{L \cdot q_o}{I_*}}, \quad (3.39)$$

где R_* - характерный размер очага пожара, м;

L - коэффициент, учитывающий геометрию пожара (0,02 – плоский очаг – разлив горючего, 0,08 – объемный очаг – дом, резервуар);

q_o - удельная теплота пожара, кДж/кг;

I_* - предельное значение интенсивности теплового излучения, кДж/(м²·с) (приложение А, таблица А.8).

Характерный размер очага пожара R_* , м определяется по формулам

$$R_* = \sqrt{S}, \quad (3.40)$$

где S - площадь горящего фронтона здания, м²;

$$R_* = \sqrt{22,5 \cdot V}, \quad (3.41)$$

где V - объем разлившейся жидкости, м³.

4 Общие методические указания к практической работе

При изучении дисциплины «Теория горения и взрыва» наряду с освоением теоретического курса, студенты выполняют расчетные задания по варианту, номер которого выдает преподаватель (приложение Б).

Работа выполняется в соответствии с едиными требованиями СТП 101-00 к составу, содержанию и оформлению отчетов по РГР, выполняемых в Оренбургском государственном университете и содержит четыре задачи

Текст выполняется на листах формата А 4 (210 х 297 мм) по ГОСТ 2.301. четко и разборчиво. Решения задач должны сопровождаться ссылками на нормативные документы и литературные источники.

5 Ответы к задачам

Химические реакции горения

1.1.4	13,33 л.	1.1.13	1,96 кг/м ³
1.1.5	Обесцвечивают бромную воду	1.1.14	1,3 кг/м ³
1.1.6	Ацетилен, C ₂ H ₂	1.1.15	7,05 кДж/к
1.1.7	C ₃ H ₄	1.1.16	1330 Дж/к
1.1.8	C ₆ H ₁₀	1.1.18	$\Delta S = 88$ Дж/К
1.1.9	640 г O ₂ ; 2782,6 воздуха	1.1.19	$\Delta S = 7,4$ Дж/К
1.1.10	C ₅ H ₈	1.1.20	$\Delta S = 1230$ Дж/К

Пожароопасные свойства веществ и материалов

1.2.1	5 °С
1.2.2	-23,4 °С
1.2.3	158 °С и 2 часа
1.2.8	НКП-4,25 %, ВКП-14,65
1.2.9	НКП-3,96 %, ВКП-17 %
1.2.10	149 г/м ³
1.2.12	17 часов, 28,4 г/м ³
1.2.14	0,4
1.2.15	1500 К

Параметры физического взрыва

2.1.3	468 К
2.1.11	3,1·10 ⁻² м ³
2.1.12	T=865 К=592 °С
2.1.13	t=123 °С, P=52,8·10 ⁶
2.1.14	P ₁ =9,5·10 ⁴ н/м ²
2.1.15	T=364К=91 °С
2.1.16	n=1,3
2.1.17	3,6·10 ⁵ Па
2.1.19	6000 л
2.1.22	2,54 МПа

Параметры химического взрыва

2.2.6	70 м
2.2.12	97 м
2.2.15	262 м

Список использованных источников

- 1 Сборник задач по безопасности жизнедеятельности: учеб. пособие / Г.В. Бектобеков [и др.].- СПб.: Изд-во «Л.А.Т», 1997. - 58 с.
- 2 Охрана труда на предприятиях автомобильного транспорта: практические расчеты /под ред. А.И. Салова. - М.: «Транспорт», 1977. - 184 с.
- 3 Инженерные решения по охране труда в строительстве /Г.Г. Орлов [и др.]; под ред. Орлова Г.Г. – М.: Стройиздат, 1985. – 278 с.
- 4 Инженерные решения по технике безопасности в строительстве /Н.Д. Золотницкий [и др.]. - М.: Стройиздат, 1969. – 264 с.
- 5 Сборник задач по физике: учеб. пособие /Р.Ц. Безверхняя [и др.]. - СПб.: Изд-во «Лань», 2004. – 128 с.
- 6 **Кабардин, О.Ф.** Физика: Справочные материалы: учеб. пособие для учащихся / О.Ф. Кабардин .– М.: Просвещение, 1988. – 367 с.
- 7 **Сивухин, Д.В.** Общий курс физики: учеб. пособие для вузов: в 5 т. Т 2 Термодинамика и молекулярная физика / Д.В. Сивухин. – М.: Физматлит, 2005. – 544 с.
- 8 **Корольченко, А.Я.** Расчет показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов /А.Я. Корольченко //Журнал пожаровзрывоопасность. – 2002.- № 6. –С. 29-31.
- 9 Задачи по химической термодинамике: учеб. пособие для вузов / В.С. Музыкантов [и др.]. – М.: Химия, 2001. – 120 с.
- 10 **Горнов, В.В.** Аварийный взрыв селитры в Тулузе / В.В. Горнов, Л.М. Перник //Безопасность труда в промышленности. - 2006.- № 7.-С. 26-28.
- 11 **Курдюмов, В.И.** Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности /В.И. Курдюмов, Б.И. Зотов. –Москва: Колос С, 2005. – 216 с.
- 12 **Волькенштейн, В.С.** Сборник задач по общему курсу физики /В.С. Волькенштейн. - М.: изд-во Наука, 1973. – 38 с.
- 13 **Василенко, В.А.** Основы теории горения и взрыва /В.А. Василенко, Л.Г. Проскурина, И.В. Ефремов. - Оренбург: ОГУ, 2005. – 137 с.
- 14 **Енохович, А.С.** Справочник по физике и технике: учеб. пособие для учащихся /А.С. Енохович. - 2-е изд. – М.: Просвещение, 1983. – 255 с.
- 15 **Шевцов, Н.Р.** Взрывозащита горных выработок: учеб. пособие для вузов /Н.Р. Шевцов.- 2-е изд. перераб. и доп. – Донецк: «Норд-пресс», 2002. – 280 с.

Приложение А
(справочное)
Справочные данные для проведения расчетов

Таблица А.1- Удельная теплота сгорания основных видов горючих веществ

Топливо, вещество	Удельная теплота сгорания Q , кДж/кг
Твердое	
Антрацит	26800 - 31400
Древесина	18731 - 20853
Древесный уголь	31500 - 34400
Дрова	8400 - 11000
Порох	3800
Тротил	15000
Уголь	10500 - 16100
Жидкое	
Бензин	44000 - 47000
Керосин	4000 - 46000
Нефть	43500 - 46000
Спирт	44000 - 46000
Газообразное	
Ацетилен	48100
Водород	120000
Метан	50000

Таблица А.2 - Теплота взрыва и эффективный коэффициент взрывчатых веществ по отношению к тротилу

Название взрывчатого вещества	Удельная теплота взрыва Q , кДж/кг	Эффективный коэффициент взрывчатых веществ по отношению к тротилу, $K_{эф}$
Азид свинца	1610	0,38
Аммонийная селитра	1440	0,34
Аммонол 80/20	4200	0,99
Гексоген	5540	1,31
Гликольдинитрат	6640	1,57
Гремучая ртуть	1740	0,41
Динамит	5130	1,21
Динитробензол	3650	0,86
Дымный порох	2790	0,66
Нитроизанидин	3020	0,71
Оксиликвиты	3800 - 4200	0,9 - 0,99
Октоген	5420	1,28
Пикрат аммония	3360	0,79
Пироксилин	4370	1,03
Тенерес	1740	0,41
Тринитроанилин	4161	0,98
Тринитробензол	4520	1,01
Тринитрохлорбензол	4240	1,01
Тэн	5880	1,39
Тротил	4240	1,00

Таблица А.3 - Характеристика степеней разрушения зданий

Степень разрушения	Характеристика разрушения
Слабая	Частичное разрушение внутренних перегородок, кровли и оконных коробок. Основные несущие конструкции сохраняются. Для полного восстановления требуется капитальный ремонт.
Средняя	Некоторые несущие конструкции разрушаются, большая часть сохраняется. Могут сохраняться частично ограждающие конструкции. Здание выводится из строя, но может быть восстановлено.
Сильная	Несущие конструкции большей частью разрушены. При этом могут сохраняться наиболее прочные элементы здания, каркасы, частично стены и перекрытия нижних этажей. Образуется завал. В большинстве случаев восстановление нецелесообразно.
Полная	Сохраняются только подвалы при полном обрушении здания. Образуется завал. Здание восстановлению не подлежит.

Таблица А.4 - Степени разрушения здания при различном избыточном давлении

Типы зданий	Избыточное давление ΔP_{ϕ} , кПа, при степени разрушения			
	Слабая	Средняя	Сильная	Полная
Кирпичные и каменные: малоэтажные многоэтажные	8 - 20	20 - 35	35 - 50	50 - 70
	8 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60
Железобетонные панельные: малоэтажные многоэтажные	10 - 30	30 - 45	45 - 70	70 - 90
	8 - 25	25 - 40	40 - 60	60 - 80
Железобетонные монолитные: многоэтажные повышенной этажности	25 - 50	50 - 115	115 - 180	180 - 250
	25 - 45	45 - 105	105 - 170	170 - 215
Складские помещения с металлическим каркасом и стенами из листового металла	5 - 10	10 - 20	20 - 35	35 - 45

Таблица А.5 - Степень разрушения элементов здания при избыточном давлении

Предельное значение ΔP_{ϕ} , кПа	Разрушение элементов здания
0,5 - 0,3	Частичное разрушение остекления
3,0 - 7,0	Полное разрушение остекления
12	Перегородки, оконные и дверные рамы
15	Перекрытия
30	Кирпичные и блочные стены
70	Металлические колонны
90	Железобетонные колонны
<p>При взрыве в замкнутом пространстве избыточное давление увеличивается в 5-6 раз за счет процессов отражения механической энергии от ограждений помещения.</p> <p>Зная ΔP_{ϕ}, по таблице определяется степень разрушения здания. При полном разрушении здания поражение получают 100 % находящихся в нем людей, при сильном разрушении – 60 %, при средних разрушениях – от 10 до 15 %.</p>	

Таблица А.6 - Свойства поверхности под зарядом взрывчатого вещества

Поверхность	Коэффициент, учитывающий подстилающую поверхность, η
Грунт средней плотности	0,6 - 0,65
Плотные глины и суглинки	0,8
Бетон	0,85 - 0,9
Стальные плиты	0,95 - 1,0

Таблица А.8 - Поражения теплового облучения

Интенсивность I , кДж/(м ² ·с)	Длительность воздействия	Степень поражения
1,26	Длительное воздействие	Болевые ощущения
10,5	10-20 с	Ожог
17,5	5 мин	Возгорание древесины
35	3 мин	Возгорание горючей жидкости (мазут)

Таблица А.9 - Значения коэффициента K_D для расчета расстояний, безопасных по передаче детонации

Взрывчатые материалы	Местоположение	Взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры без нитроэфиров и взрывчатые вещества с содержанием нитроэфиров до 40 %		Взрывчатые вещества с содержанием нитроэфиров в 40 % и более		Тротил		Детонаторы	
		О	У	О	У	О	У	О	У
Активный заряд		Пассивный заряд							
Взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры с содержанием нитроэфиров до 40 %	Открытый	0,8	0,5	1,1	0,8	1,3	1	0,8	0,5
	Углубленный	0,5	0,3	0,8	0,5	1	0,6	0,5	0,3
Взрывчатые вещества с содержанием нитроэфиров 40 % и более	Открытый	1,6	1	2,3	1,6	2,5	2	1,6	1
	Углубленный	1	0,6	1,6	1	2	1,3	1	0,6
Тротил	Открытый	1,3	1	1,6	1,3	1,9	1,4	1,3	1
	Углубленный	1	0,6	1,3	0,9	1,4	0,8	1	0,7
Детонаторы	Открытый	0,4	0,25	0,75	0,5	0,7	0,6	0,4	0,25
	Углубленный	0,25	0,2	0,5	0,4	0,6	0,4	0,25	0,2

Примечание - У- углубленный заряд; О – открытый заряд.

Таблица А.10 - Значения допустимых расстояний по передаче детонации между хранилищами взрывчатых веществ r_D

Активный заряд	Пассивный заряд	Безопасные расстояния по передаче детонации, r_D , м, при вместимости хранилища (массе взрывчатых материалов), т					
		10	25	60	120	240	420
Взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры с нитроэфирами до 40 %	Взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры с нитроэфирами до 40 %						
Открытый	Открытый	20	27	36	45	56	68
Тот же	Углубленный	12	17	22	28	35	43
Углубленный	Открытый	12	17	22	28	35	43
Тот же	Углубленный	7	10	14	17	21	26
Взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры с нитроэфирами до 40 %	Тротил						
Открытый	Открытый	32	43	58	73	91	110
Тот же	Углубленный	25	33	44	56	70	85
Углубленный	Открытый	25	33	44	56	70	85
Тот же	Углубленный	15	20	27	34	42	51
Тротил	Взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры с нитроэфирами до 40 %						
Открытый	Открытый	32	43	58	58	58	110
Тот же	Углубленный	25	33	44	44	44	85
Углубленный	Открытый	25	33	44	44	44	85
Тот же	Углубленный	15	20	27	27	27	51
Тротил	Тротил						
Открытый	Открытый	46	63	84	106	133	160
Тот же	Углубленный	34	46	62	78	98	118
Углубленный	Открытый	34	46	62	78	98	118
Тот же	Углубленный	20	27	36	45	56	68

Таблица А.11 - Расстояния, безопасные по разлету отдельных кусков породы при взрыве

Линия наименьшего сопротивления W , м	Радиус опасной зоны R , м, для людей при значении показателя действия взрыва заряда			
	1,0	1,5	2,0	2,5-3,0
1,5	200	300	350	400
2	200	400	500	600
4	300	500	700	800
6	300	600	800	1000
8	400	600	800	1000
10	500	700	900	1000
12	500	700	900	1200
15	600	800	1000	1200
20	700	800	1200	1500
25	800	1000	1500	1800
30	800	1000	1700	2000

Таблица А.12 - Значения коэффициентов K_B и k_B для расчета расстояний, безопасных по действию ударной воздушной волны при взрыве

Степень повреждения	Возможные последствия	Наружный заряд			Заряд, углубленный на свою высоту			n=3
		Q , кг	k_B	K_B	Q , т	k_B	K_B	k_B
1	Отсутствие повреждений	не более,10 не менее,10	50-150 -	- 400	не более,20 не менее,20	20-50 -	- 200	3-10 -
2	Случайные повреждения застекления	не более,10 не менее,10	10-30 -	- 60-100	не более,20 не менее,20	5-12 -	- 50	- 1-2
3	Полное разрушение застекления. Частичное повреждение рам, дверей, нарушение штукатурки и внутренних легких перегородок	не более,10 не менее,10	5-8 -	- 30-50	- -	- 2-4	- -	- 0,5-1
4	Разрушение внутренних перегородок, рам, дверей, бараков, сараев и т. п.	-	2-4	-	-	1-2	-	Разрушение в пределах воронки
5	Разрушение малостойких каменных и деревянных зданий, опрокидывание железнодорожных составов	-	1,5-2	-	-	0,5-1	-	-
Примечание- Взрыв заряда на глубине, меньшей 1,5 высот заряда, следует рассматривать как взрыв наружного заряда								

Таблица А.13 - Безопасные расстояния для людей при взрывных работах на земной поверхности

Виды и методы взрывных работ	Минимально допустимые радиусы опасных зон R , м
1	2
1 Взрывание на открытых работах методами: 1.1 Наружных зарядов, в том числе кумулятивных 1.2 Шпуровых зарядов 1.3 Котловых шпуров 1.4 Малокамерных зарядов (рукавов) 1.5 Скважинных зарядов 1.6 Котловых скважин 1.7 Камерных зарядов	300 по проекту 200* 200* 200* не менее 200** не менее 300 не менее 300
2 Дробление валунов зарядами в подкопах	400
3 Корчевка пней	200
4 Прокладка защитных полос в грунте при борьбе с лесными пожарами	50
5 Взрывание при посадке насыпей на болотах	100
6 Дноуглубительные работы: 6.1 Без ледяного покрова на поверхности водного бассейна при взрывании: нескальных грунтов скальных грунтов зарядами: шпуровыми накладными массой до 100 кг накладными массой более 100 кг 6.2 При ледяном покрове вне зависимости от свойств взрывааемых грунтов	100 50 200 300 200
7 Ледоходные работы при взрывании: 7.1 Льда толщиной до 1 м 7.2 Льда толщиной 1-2 м 7.3 Заторов	100 200 200

7.4 По шуге	50
7.5 Льда толщиной более 2 м и заторов зарядами более 300 кг	300
8 Работы по металлу:	
8.1 На открытых полигонах	по проекту
8.2 При взрывании в бронях	30
8.3 При взрывании на территории заводских площадок	по проекту***
8.4 При взрывании в горячих массивах	30
8.5 При штамповке изделий	25
9 Валка зданий и сооружений	100
10 Дробление фундаментов	по проекту
11 Простреливание шпуров для образования котловых зарядов	50
12 Простреливание скважин для образования котловых зарядов	100

1	2
13 При торпедировании и прострелочно-взрывных работах в нефтяных, газовых и артезианских скважинах	50****
14 При взрывах для сейсмической разведки: в шурфах и на земной поверхности в скважинах	100 30
15 Взрывные работы на стройплощадке	по проекту***
<p>* При взрывании на косогорах в направлении вниз по склону величина радиуса опасной зоны должна приниматься не менее 300 м.</p> <p>** Радиус опасной зоны указан для взрывания зарядов с забойкой.</p> <p>*** В проект должен включаться раздел, в котором излагаются особые меры по обеспечению безопасности людей.</p> <p>**** Радиус опасной зоны при торпедировании и перфорации может быть уменьшен до 10м после спуска в скважину на глубину более 50 м. Для морских буровых установок радиус опасной зоны определяется в проекте.</p>	

Таблица А.14 - Эмпирические коэффициенты для определения температуры вспышки веществ, молекулы которых содержат различные структурные группы

Структурная группа	α_i °C	Структурная группа	α_i °C
C-C	-2,03	C=O	11,66
C-C	-0,28	C≡N	12,13
C-H	1,105	N-H	5,83
C-O	2,45	O-H	23,90
C=C	1,72	C-F	3,33
C-N	14,15	C-S	2,09
C-Cl	15,11	C=S	-11,91
C-Br	19,40	H-S	5,64
Si-C	-4,84	P-O	3,27
Si-Cl	10,07	P=O	9,64

Таблица А.15 - Константы для определения температуры вспышки органических соединений, молекулы которых состоят из атомов С, Н, О, и N, а также галоидоорганических и элементоорганических соединений

Класс соединений	c_0	c_1	c_2
Из атомов С, Н, О, N,	-45,5	0,86	-0,0082
С, Н, О, N, Cl	-39,6	0,86	-0,0114
Соединения, содержащие атомы F, Br	-57,4	0,79	-0,0147
Элементоорганические соединения, содержащие атомы S, Si, P, Cl	-45,5	0,83	-0,0082

Таблица А.16 - Значения коэффициентов α и β для различных органических соединений при расчете температуры вспышки

Классы веществ	α	β
Алканы	-73,22	0,693
Спирты	-41,69	0,652
Алкиланилины	-21,94	0,533
Карбоновые кислоты	-43,57	0,708
Алкилфенолы	-38,42	0,623
Ароматические углеводороды	-67,83	0,665
Альдегиды	-74,76	0,813
Бромалканы	-49,56	0,665
Кетоны	-52,69	0,643
Хлоралканы	-55,70	0,631

Таблица А.17 - Удельная теплоемкость некоторых веществ

Газ, пар или жидкость	Удельная теплоемкость c , кДж/(кг·К)
Азот	1
Водород	14,2
Водяной пар	2,0
Воздух	1,0
Гелий	5,2
Кислород	0,92
Бензин	2,05
Вода	4,19
Глицерин	2,43
Лед	2,10
Нафталин	1,30
Парафин	2,89

Таблица А.18 - Удельная теплота плавления некоторых веществ

Вещество	Удельная теплота плавления, кДж/кг
Азот	25,7
Водород	59
Воск	176
Кислород	13,8
Лед	330
Спирт	105
Нафталин	151
Парафин	150
Хлор	188
Эфир	113

Таблица А.19 - Удельная теплота парообразования жидкостей и твердых веществ

Жидкость	Удельная теплота парообразования r , кДж/кг
Азот жидкий	201
Бензин	230 - 310
Вода (при $t=0$ °С)	2500
Вода (при $t=20$ °С)	2450
Вода (при $t=100$ °С)	2260
Водород жидкий	450
Воздух	197
Керосин	209 - 230
Иод	226
Камфара	387,2
Лед	2834
Сухой лед	586
Мышьяк	

Приложение Б
(обязательное)

Таблица Б. 1 - Варианты заданий к расчету

Вариант	Задачи
1	1.1.1, 1.2.21, 2.1.2, 2.2.10
2	1.1.2, 1.2.20, 2.1.4, 2.2.9
3	1.1.3, 1.2.19, 2.1.6, 2.2.8
4	1.1.4, 1.2.18, 2.1.8, 2.2.7
5	1.1.5, 1.2.17, 2.1.10, 2.2.6
6	1.1.6, 1.2.16, 2.1.12, 2.2.5
7	1.1.7, 1.2.15, 2.1.14, 2.2.4
8	1.1.8, 1.2.14, 2.1.16, 2.2.3
9	1.1.9, 1.2.13, 2.1.18, 2.2.2
10	1.1.10, 1.2.12, 2.1.20, 2.2.1
11	1.1.11, 1.2.11, 2.1.22, 2.2.1
12	1.1.12, 1.2.10, 2.1.1, 2.2.12
13	1.1.13, 1.2.9, 2.1.3, 2.2.13
14	1.1.14, 1.2.8, 2.1.5, 2.2.14
15	1.1.15, 1.2.7, 2.1.7, 2.2.15
16	1.1.16, 1.2.6, 2.1.9, 2.2.16
17	1.1.17, 1.2.5, 2.1.11, 2.2.17
18	1.1.18, 1.2.4, 2.1.13, 2.2.18
19	1.1.19, 1.2.3, 2.1.15, 2.2.19
20	1.1.20, 1.2.2, 2.1.17, 2.2.20
21	1.1.19, 1.2.1, 2.1.19, 2.2.5
22	1.1.18, 1.2.20, 2.1.21, 2.2.7
23	1.1.17, 1.2.10, 2.1.3, 2.2.9
24	1.1.16, 1.2.5, 2.1.6, 2.2.11
25	1.1.15, 1.2.15, 2.1.9, 2.2.13
26	1.1.14, 1.2.4, 2.1.12, 2.2.15

27	1.1.13, 1.2.8, 2.1.15, 2.2.17
28	1.1.12, 1.2.12, 2.1.18, 2.2.19
29	1.1.11, 1.2.2, 2.1.21, 2.2.3
30	1.1.10, 1.2.16, 2.1.2, 2.2.6