МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Забайкальский государственный университет»

(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)

Факультет горный

Кафедра подземной разработки месторождений полезных ископаемых

**УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**для студентов заочной формы обучения**

по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ»

для специальности 21.05.04Горное дело

специализация Подземная разработка рудных месторождений

Общая трудоемкость дисциплины 216,0 ч, 6 (ЗЕ) кредитов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды занятий | Распределение по семестрам  в часах | | | Всего часов |
| 7  семестр | —семестр | —семестр |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Общая трудоемкость | 252 | — | — | 216 |
| Аудиторные занятия, в т.ч.: | 26 |  |  | 26 |
| лекционные (ЛК) | 12 | — | — | 12 |
| практические занятия (ПЗ) | 14 | — | — | 14 |
| лабораторные (ЛР) | — | — | — | — |
| Самостоятельная работа студентов (СРС) | 190 | — | — | 190 |
| Форма промежуточной аттестации в семестре | экзамен | — | ─ |  |
| Курсовая работа (курсовой проект) (КР, КП) | ─ | ─ | ─ | —─ |

**Краткое содержание курса**

|  |  |
| --- | --- |
| №  темы | Раздел, тема учебного курса |
| *1* | *2* |
| **1. СВЕДЕНИЯ ПО ТЕОРИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ** | |
| 1.1 | Исторические сведения о развитии взрывного дела. Классификация взрывов. |
| 1.2 | Классификация ВВ по составу, способу возбуждения детонации и использованию. |
| 1.3 | Кислородный баланс и реакции взрывчатых превращений. |
| 1.4 | Физико-химические характеристики ВВ. Основные формы превращения ВВ. |
| 1.5 | Начальный импульс для возбуждения детонации ВВ. Объем газов, теплота и температура взрыва, их определение. |
| 1.6 | Основы теории детонации и характеристики ВВ. |
| **2. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА** | |
| 2.1 | Характеристика промышленных ВВ. |
| 2.2 | Основные компоненты взрывчатых механических смесей. |
| 2.3 | Классификация зарядов ВВ по построению и форме. |
| 2.4 | Действие взрыва заряда ВВ в горной породе. |
| **3. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ИНИЦИИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВВ** | |
| 3.1 | Общие сведения о способах инициирования промышленных ВВ. |
| 3.2 | Электрический способ взрывания шпуровых и скважинных зарядов, средства электрического взрывания. Конструкции зарядов и схемы монтажа взрывной сети. |
| 3.3 | Схемы монтажа электровзрывных сетей и их расчет. |
| 3.4 | Источники тока для инициирования взрывных сетей. Взрывные приборы. |
| 3.5 | Системы неэлектрического способа инициирования зарядов ВВ. |
| 3.7 | Схемы монтажа взрывных сетей при неэлектрическом способе инициирования и их расчет. |
| **4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЗРЫВНЫХ РАБОТ** | |
| 4.1 | Классификация ВМ по степени опасности при их хранении и перевозке. |
| 4.2 | Понятие о массовом взрыве. Основные организациионные мероприятия при производстве массового взрыва. |
| 4.3 | Классификация отказов, способы их ликвидации и меры по исключению вероятности возникновения отказов. |
| 4.4 | Классификация складов ВМ по расположению относительно поверхности земли, сроку эксплуатации и назначению. |
| 4.5 | Персонал для производства взрывных работ и хранения ВМ. Порядок его допуска к производству взрывных работ. |
| 4.6 | Подготовка ВМ к производству взрывных работ. Порядок испытания ВМ. Учет и выдача ВМ. Документация участка буровзрывных работ. |
| 4.7 | Транспортирование ВМ. Уничтожение взрывчатых веществ и средств инициирования. |

**Форма контроля – экзамен.**

Форма текущего контроля – контрольные работы.

**Контрольная работа № 1 Базовые сведения о взрыве, видах взрыва и взрывчатых веществах (ВВ).**

Дать определение понятия «взрыв», охарактеризовать виды взрывов, раскрыть суть реакции взрывчатого превращения при производстве химического взрыва и об основных компонентах ВВ. Раскрыть понятие «Промышленные взрывчатые вещества и материалы», представить классификацию ВВ по составу, способу возбуждения взрыва и использованию.

**Контрольная работа № 2. Определение кислородного баланса (КБ), кислородного коэффициента () и группы испытуемых ВВ в классификации по величине КБ.**

Для выполнения работы понадобятся сведения о некоторых константах промышленных ВВ, указанных в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Некоторые константы промышленных ВВ и исходных компонентов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №, п/п | Вещество | Химическая  формула | Молекулярная масса, М, г/моль |
| *1* | *2* | *3* | *4* |
| 1 | Нитрат аммония (аммиачная селитра) | NH4NO3 | 80 |
| 2 | Нитрат натрия | NaNO3 | 85 |
| 3 | Нитрат калия | КNO3 | 101 |
| 4 | Нитрат кальция | Ca(NO3)2 | 164 |
| 5 | Перхлорат аммония | NH4 ClO4 | 117,5 |
| 6 | Перхлорат натрия | NaClO4 | 122,5 |
| 7 | Тротил | C7H5 (NO2)3 | 227 |
| 8 | Тетрил | C7H5O8N5 | 287 |
| 9 | Тэн | C7H5O12N4 | 316 |
| 10 | Гексоген | C3H6O6N6 | 222 |
| 11 | Динитротолуол | C7H6O4N2 | 182 |
| 12 | Динитронафталин | C10H6O4N2 | 218 |
| 13 | Нитроглицерин | C3H5 (NO3)3 | 227 |
| 14 | Нитрогликоль | C2H4N2O6 | 152 |
| 15 | Нитродигликоль | C4H8N2O7 | 196 |
| 16 | Коллоидный хлопок (12,2% азота) | C6H7N3O12 | 313 |
| 17 | Нитрометан | CH3NO2 | 61 |
| 18 | Карбамид (мочевина) | CO(NH2)2 | 60 |

Окончание таблицы 2.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *1* | *2* | *3* | *4* |
| 19 | Алюминий | Al | 27 |
| 20 | Парафин | C38H38 | 254 |
| 21 | Хлористый аммоний | NH4 Cl | 53,5 |
| 22 | Минеральные масла | C12H26 | 170,5 |
| 23 | Целлюлоза | C6H10O5 | 160 |
| 24 | Стеариновая кислота | C17H5COOH | 254 |
| 25 | Стеарат кальция | C36H70O4Ca | 607 |
| 26 | Древесная мука | C15H22O10 | 362 |
| 27 | Натриевая соль КМЦ | C8H11O7 Na | 242 |
| 28 | Акриламид | C3H5ON | 71 |
| 29 | Метиллитакрилат | C5H8O2 | 100 |

**2.1 Понятие о кислородном балансе ВВ и методы его определения**

***Кислородным балансом (КБ)*** называется отношение избытка или недостатка кислорода во взрывчатом веществе, необходимого для полного окисления горючих элементов до их высших окислов, выраженного в грамм-атомах, к грамм-молекулярной массе ВВ. Обычно величина кислородного баланса выражается в процентах.

Под полным окислением горючих элементов понимается окисление водорода в воду, углерода в двуокись углерода (углекислый газ), а металла (алюминия) в его высший окисел.

Взрывчатые вещества, состоящие из углерода, водорода, азота и кислорода, можно представить в виде так называемой условной (брутто) формулы *СaНbNcOd*, тогда кислородный баланс можно определить по формуле:

***Для индивидуальных ВВ:***

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | (2.1) |
|  | 16 | – атомная масса кислорода; | |  |
| где | *а*, *b*, *с* и *d* | | – количество атомов соответственно углерода, |  |
|  | водорода, азота и кислорода в составе ВВ. | | |  |

***Для смесевых многокомпонентных ВВ***, содержащих также алюминиевую пудру, обычно используется особая последовательность расчета:

а) вначале определяется количество каждого из элементов (), содержащихся в 1 кг смеси (в грамм-атомах) по выражению (2):

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (2.2) |
| где |  | – масса компонента ВВ, г; |  |
|  |  | – молекулярная масса компонента, г-моль. |  |

б) затем составляется условная (брутто) формула вида *СaНbNcOdAle;*

в) после этого рассчитывается КБ по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.3) |

***Кислородный коэффициент ()*** показывает меру насыщенности ВВ кислородом и определяется по формуле (без учета *Al*):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.4) |

Сбалансированность химического состава ВВ по кислороду отвечает значениям КБ = 0% и

По величине кислородного баланса, в зависимости от соотношения между *a*, *b* и *d*, все промышленные ВВ принято подразделять на три группы.

**2.2 Классификация ВВ по величине КБ**

2.2.1 ***Первая группа*** – ВВ с положительным или нулевым КБ, т.е. с количеством кислорода в составе ВВ, достаточным для полного окисления горючих элементов:

|  |  |
| --- | --- |
| , откуда КБ ≥ 0. | (2.5) |

В этом случае в составе продуктов взрыва (ПВ) в основном содержатся газообразные *СО2*, H2О, *N2* и частично продукты диссоциации углекислого газа и воды (водяных паров). При значительном избытке кислорода возможно образование окислов азота *NO*, *NO2* и др.

2.2.2 ***Вторая группа*** – ВВ с отрицательным КБ, но с количеством кислорода, достаточным для полного газообразования:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.6) |

Как правило, в этом случае образуются следующие ПВ: *СО2*, *СО*, *H2О*, *H*2 и *N2*.

2.2.3 ***Третья группа*** – ВВ с существенно отрицательным КБ, при котором в составе ПВ может присутствовать чистый углерод (*С*) в виде сажи:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.7) |

В таком случае ПВ состоят, в основном, из *СО*, *С*, *H2О*, *H2*, *N2*.

Если в состав ВВ входит алюминиевая пудра, то в левую и/или правую часть неравенства добавляется .

**Пример 2.1.** Определить КБ и для индивидуального ВВ – тротила (ТНТ), имеющего химическую формулу *С7Н5(NO2)3*. Определить группу, к которой относится ВВ.

Перед выполнением задания приведем химическую формулу к условной (брутто-формуле) – *С7Н5N3O6*.

.

|  |
| --- |
|  |

ВВ имеет отрицательный КБ и может относится как ко 2-й, так и к 3-й группе. Выполним проверку этого утверждения по выражениям 2.6 и 2.7:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Неравенство не верно.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Вывод о том, что ТНТ относится к ВВ 3-й группы верен.

**Пример 2.2.** Определить КБ и для смесевого ВВ – аммонита 6ЖВ, состоящего из 79% аммиачной селитры с химической формулой *NH4NO3* и 21% тротила с химической формулой *С7Н5(NO2)3*,который служит в качестве сенсибилизатора. Определить группу, к которой относится ВВ.

Задание выполняем по выражениям 2.2, 2.3 и 2.4.

1. Определяем количество каждого из элементов, содержащихся в 1 кг смеси (в грамм-атомах):

Для аммиачной селитры

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Для тротила

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Записываем компонентный состав в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |

Определяем суммарное количество грамм-атомов элементов в условной формуле:

2. Составляем условную (брутто) формулу вида С*a*Н*b*N*c*O*d*:

.

Проверяем суммарную массу условной (брутто) формулы, которая должна быть равна ≈ 1000 г.

3. Кислородный баланс ВВ, определяемый по выражению (1), равен:

4. Определяем кислородный коэффициент () по выражению (2.4), показывающий меру насыщенности ВВ кислородом:

5. Предполагая, что испытуемое ВВ относится к 1-й группе, выполним проверку этого вывода по выражению (2.5):

Предположение верно.

**Пример 2.3.** Найти значение КБ и для гранулита АС8 и определить группу, к которой относится ВВ.

Гранулит АС8 относится к смесевым многокомпонентным ВВ и содержит 89% аммиачной селитры с формулой *NH4NO3*, молекулярной массой 80,0 г/моль; 8% алюминиевой пудры (), МВВ 27,0 г/моль и 3% минерального масла (), МВВ = 170 г/моль.

В нашем случае обычно используется следующая последовательность расчетов:

1. По выражению (2.2) определяют количество каждого из элементов, содержащихся в 1 кг смеси (в грамм-атомах):

Для аммиачной селитры:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Для алюминиевой пудры:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Для минерального масла:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

2. По выражению (2.3) составляют условную (брутто) формулу.

|  |
| --- |
|  |

Условная формула (брутто) для ВВ примет вид:

Проверяется суммарная масса условной (брутто) формулы, которая должна быть равна ≈ 1000 г:

3. Определяем КБ по формуле (2.3)

|  |
| --- |
|  |

4. Определяем кислородный коэффициент () по выражению (2.4), показывающий меру насыщенности ВВ кислородом:

5. Предполагая, что испытуемое ВВ относится к 1-й группе, выполним проверку этого вывода по выражению 5:

Предположение верно.

***Задания к выполнению контрольной работы №2***

Определить КБ, и группу ВВ (по величине КБ)

а) для индивидуального ВВ – ***гексогена;***

б)смесевых ВВ ***аммонала, гранулита А6 и гранулита М*** и определить группы, к которым они относятся.

**Контрольная работа № 3. Составление реакций взрывчатого превращения ВВ**

Для составления уравнения реакции взрывчатого превращения после определения КБ ВВ необходимо придерживаться следующего порядка действий:

а) окислить водород до Н2О (из расчета 2 атомов водорода на 1 атом кислорода);

б) окислить углерод до СО (из расчета 1 атома углерода на 2 атома кислорода);

в) окислить СО до СО2, если остался кислород;

г) добавить остальные продукты реакции;

д) составить реакцию после проверки коэффициентов.

***Для ВВ первой группы*** с КБ ≥ 0 характерно следующее: водород окисляется до *Н2О*, углерод до *СО2*, алюминий до *А12О3*, азот до *N2* (принцип максимального энерговыделения – Бертло), оставшийся кислород образует свободные молекулы кислорода.

Составление реакции взрывчатого превращения для таких ВВ имеет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.8) |

***Для ВВ второй группы*** используется метод максимального газообразования (принцип Ле-Шателье – Малляра).

Расчет состава продуктов взрыва по данному принципу для ВВ, не содержащих алюминия, предусматривает последовательность:

а) в момент взрыва весь углерод окисляется до окиси углерода (*СО*);

б) оставшаяся часть кислорода равными долями расходуется на окисление водорода (*H*) до воды (*H2O*) и окиси углерода до двуокиси ;

в) при недостатке кислорода выделяются свободные элементы .

Схема написания реакции взрывчатого превращения по этой методике имеет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.9) |

***Для ВВ 3 группы***

***Для взрывчатых веществ третьей******группы***характерно следующее.

Состав продуктов взрыва определяют по методике Бринкли-Вильсона, согласно которой при составлении правой части реакции взрывчатого превращения распределение кислорода происходит в две стадии. В составах, не содержащих алюминиевую пудру, кислород сначала окисляет весь водород в *H2O* и углерод в *СО*, оставшийся кислород окисляет часть углерода до СО.

Для условий полного газообразования:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.10) |

Для условий неполного газообразования:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.11) |

Для алюмосодержащих смесевых ВВ сначала алюминий окисляется в *Al2O3*, водород – в воду (*H2O*), углерод *С* – в *СО*. Оставшийся кислород идет на доокисление *CO* в *CO2*.

Для практических расчетов термодинамических характеристик многокомпонентных ВВ реакции взрывчатого превращения составляются по вышеперечисленным методикам. По известному процентному содержанию компонентов в смесевом ВВ определяется количество г-молей компонентов в 1 кг ВВ, после чего составляется условная (брутто) формула ВВ и правая часть химической реакции взрыва.

Составление реакции взрыва по выражениям (10 – 11) для ВВ 3-й группы – процесс достаточно сложный, поэтому, при возможности, рекомендуется воспользоваться упрощенными вариантами при решении этой задачи.

**Пример 3.1.** Составить реакцию взрывчатого превращения индивидуального ВВ – тротила (ТНТ), имеющего химическую формулу *С7Н5(NO2)3* Его КБ = – 74%. Брутто-формула ТНТ – *С7Н5N3O6*.

Тротил, имеющий резко отрицательный КБ, относится к ВВ 3-й группы.

Из химической формулы тротила видим, что кислорода недостаточно для окисления водорода и углерода. Для полного окисления водорода необходимо 2,5 атома кислорода, а для неполного окисления углерода остается 3,5 атомов. Количество атомов углерода, участвующих в реакции – 7. Таким образом, после выравнивания получаем коэффициенты: 3,5 у соединения (*СО*) и 3,5 – у свободного углерода (*С*), который выделяется в виде сажи. Помимо этого выделяется азот (*N2*).

После выравнивания коэффициентов реакция взрывчатого превращения ТНТ будет выглядеть следующим образом:

*С7Н5(NO2)3* = 2,5*Н2О* + 3,5*СО* + 3,5*С* + 1,5*N2*.

**Пример 3.2.** Составить реакцию взрывчатого смесевого ВВ – аммонита 6ЖВ, состоящего из 79% аммиачной селитры с химической формулой *NH4NO3* и 21% тротила с химической формулой *С7Н5(NO2)3*. Его КБ составляет +0,26. Брутто-формула выглядит следующим образом:

Записываем компонентный состав в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
| , |  |

Аммонит 6ЖВ относится к 1-й группе ВВ.

Составление реакции взрывчатого превращения для таких ВВ выполняем по выражению (8):

|  |
| --- |
| ; |

Реакция взрывчатого превращения аммонита 6ЖВ примет вид:

**Пример 3.3.** Составить реакцию взрывчатого смесевого ВВ – гранулита АС8, состоящего из 89% аммиачной селитры, 8% алюминиевой пудры и 3% минерального масла. Кислородный баланс КБ составляет + 0,27.

Гранулит АС8 относится к ВВ 1-й группы. Условная формула (брутто) для ВВ имеет вид:

Записываем компонентный состав в следующем виде:

Зная элементарный состав ВВ первой группы с нулевым или положительным кислородным балансом, можно легко составить реакцию его взрывчатого разложения в виде

Реакция взрывчатого превращения гранулита АС8 выглядит следующим образом:

***Задания к выполнению контрольной работы № 3.***

Составить реакцию взрывчатого превращения :

а) для индивидуального ВВ – ***гексогена;***

б)смесевых ВВ ***аммонала, гранулита А6 и гранулита М.***

**Контрольная работа №4. Расчет теплового эффекта реакции взрывчатого превращения ВВ**

В основе расчета теплового эффекта реакции взрывчатого превращения ВВ используется закон Гесса (1840 г.), основанный на первом начале термодинамики. По этому закону тепловой эффект некоторой последовательности химических реакций не зависит от пути превращения исходных веществ в конечные продукты, а определяется только начальным и конечным состояниями системы.

По известным значениям теплоты образования ВВ (индивидуального) или компонентов смесевого ВВ и теплоты образования продуктов взрыва тепловой эффект реакции взрыва () определяется по формуле:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | (2.12) |
|  | | | | |
| где |  | – теплота взрыва, кДж/моль; | | |
|  |  | | – суммарная теплота образования продуктов взрыва  c учетом их грамм-молей, кДж/моль; | |
|  |  | | – суммарная теплота образования компонентов ВВ  c учетом их грамм-молей, кДж/моль. | |

Теплотой образования простых элементов (*C*, *H2*, *O*, *N2*, *Al* и др.) можно пренебречь, т.к. их тепловой эффект крайне мал.

Для индивидуальных ВВ необходимо перевести теплоту взрыва на 1 кг ВВ по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.13) |

Теплота образования основных продуктов взрыва и взрывч атых веществ представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

*Таблица 1.* Теплота образования продуктов взрыва

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №,  п/п | Вещество | Химическая  формула | Теплота образования, кДж/моль |
| 1 | Окись углерода | *СО* | 113,7 |
| 2 | Двуокись углерода | *СО2* | 395,6 |
| 3 | Вода (пар) | *Н2О* | 240,6 |
| 4 | Окись алюминия | *Al2O3* | 1666,4 |
| 5 | Окись азота | *NO* | – 90,37 |
| 6 | Двуокись азота | *NO2* | – 33,89 |

*Таблица 2.* Теплота образования индивидуальных ВВ и компонент смесевых ВВ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №,  п/п | Вещество | Химическая  формула | Теплота образования, кДж/моль |
| 1 | Аммиачная селитра | *NH4NO3* | 354,8 |
| 2 | Дизельное топливо | *С13H20* | 158,8 |
| 3 | Индустриальное масло | *С12H26* | 341,9 |
| 4 | Карбамид | *СH4N2O* | 333,6 |
| 5 | Древесная мука | *C15H22O10* | 2002,0 |
| 6 | Тротил | *C7H5(NO2)3* | 56,6 |
| 7 | Нитроглицерин | *C3H5(NO3)3* | *350,7* |
| 8 | Нитрогликоль | *C2H4(NO3)2* | *229,6* |
| 9 | Гексоген | *С3H6N6O6* | *–93,3* |
| 10 | ТЭН | *C5H8N4O12* | *402,3* |
| 11 | Динитронафталин | *C10H6(NO2)2* | *–29,8* |
| 12 | Октоген | *С4H8N8O8* | *–109,4* |
| 13 | Тетрил | *C7H5N5O8* | *–41,9* |

**Пример 4.1.** Рассчитать теплоту взрыва тротила (ТНТ), имеющего химическую формулу *С7Н5(NO2)3*.

*С7Н5(NO2)3* = 3,5*СО* + 2,5*Н2О* + 3,5*С* + 1,5*N2*.

Согласно закону Гесса теплота взрыва определяется по выражению 2.12:

По таблице 2 находим теплоту образования тротила, равную *Q*12 = 56,6 кДж/моль.

В связи с тем, что тепловой эффект продуктов взрыва простых элементов реакции *C* и *N* крайне мал, теплотой их можно пренебречь.

Суммарную теплоту образования ПВ для оставшихся продуктов взрыва – воды (*Н2О*) и окиси углерода (*СО*) определяем в следующем порядке.

1) определяем суммарную теплоту образования ПВ:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | |
|  | | |
| где | и | – теплота образования *СO* и *H2O* (в парообразном состоянии), |
|  | кДж/моль (табл. 1). | |

2) поскольку ТНТ относится к индивидуальным ВВ, то теплоту взрыва необходимо перевести на 1 кг ВВ по формуле (13):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | | |
|  | | |
| где |  | – молекулярная масса тротила, г-моль, |

**Пример 4.2.** Рассчитать теплоту взрыва смесевого ВВ – аммонита 6ЖВ, реакция взрывчатого превращения которого имеет вид:

Согласно закону Гесса теплота взрыва определяется по выражению 2.12:

В связи с тем, что тепловой эффект продуктов взрыва простых элементов реакции *О* и *N* крайне мал, теплотой их можно пренебречь.

По таблице 1 находим теплоту образования и , равные, соответственно, 395,6 и 240,6 кДж/моль.

Суммарную теплоту образования ПВ для продуктов взрыва и *Н2О* определяем по формуле 12:

.

Суммарную теплоту образования компонентов ВВ – аммиачной селитры ( и тротила () c учетом их грамм-молей и воспользовавшись таблицей 2, определяем по выражению:

**Пример 4.3.** Рассчитать теплоту взрыва смесевого ВВ – гранулита АС8, реакция взрывчатого превращения которого имеет вид:

Согласно закону Гесса теплота взрыва определяется по выражению 2.12:

В связи с тем, что тепловой эффект продуктов взрыва простых элементов реакции *О* и *N* крайне мал, теплотой их можно пренебречь.

По таблице 1 находим теплоту образования , и , равные, соответственно, 101,96, 395,6 и 240,6 кДж/моль.

Суммарную теплоту образования ПВ для продуктов взрыва , и *Н2О* определяем по формуле 12:

Суммарную теплоту образования компонентов ВВ – аммиачной селитры ( и индустриального масла () c учетом их грамм-молей и воспользовавшись таблицей 2, определяем по выражению:

***Задания к выполнению контрольной работы №4.***

Определить теплоту взрыва:

а) для индивидуального ВВ – ***гексогена;***

б)смесевых ВВ ***аммонала, гранулита А6 и гранулита М.***

**Контрольная работа №4. Расчет температуры газообразных продуктов взрыва**

Температура газообразных ПВ () рассчитывается по формуле:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (2.14) |
|  | | | |
| где |  | – число молей одноименных газов; | |
|  |  | – теплота взрыва ВВ, кДж/моль; | |
|  |  | – эмпирические коэффициенты *i*-го компонента ПВ. | |

В таблице 3 приведены значения эмпирических коэффициентов *а* и *b*,

предложенные Г. Кастом.

*Таблица 3.* Значения эмпирических коэффициентов *а* и *b*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип газа | *а*, Дж/моль | *b*, Дж/моль |
| Двухатомные (*СО*, *Н2*, *О2*, *N2*, *NO*) | 20,1 | 18,86⋅10-4 |
| Трехатомные (*СО2*, *NO2*) | 41,1 | 24,30⋅10-4 |
| Четырехатомные | 41,9 | 18,86⋅10-4 |
| Пятиатомные | 50,28 | 18,86⋅10-4 |
| Пары воды (*Н2О*) | 16,76 | 90,10⋅10-4 |
| Твердые компоненты ПВ (*С*, *Al2O3*) | 24,97 | 0 |

**Пример 5.1.** Определить температуру продуктов взрыва (*Твзр*) при взрыве тротила.

Реакция взрывчатого превращения тротила, имеющего химическую формулу *С7Н5(NO2)3*.

*С7Н5(NO2)3* = 3,5*СО* + 2,5*Н2О* + 3,5*С* + 1,5*N2*.

**Пример 5.2.** Определить температуру продуктов взрыва (*Твзр*) при взрыве аммонита 6ЖВ.

Реакция взрывчатого превращения аммонита 6ЖВ выглядит следующим образом:

Температура газообразных ПВ () рассчитывается по формуле (14):

**Пример 5.3.** Определить температуру продуктов взрыва (*Твзр*) при взрыве гранулита АС8, реакция взрывчатого превращения которого выглядит следующим образом:

Температура газообразных ПВ () рассчитывается по формуле (14):

***Задания к выполнению контрольной работы №5.***

Определить температуру взрыва:

а) для индивидуального ВВ – ***гексогена;***

б)смесевых ВВ ***аммонала, гранулита А6 и гранулита М.***

**Контрольная работа №6. Определение объема газообразных продуктов взрыва (ПВ)**

Объем газообразных ПВ определяется по реализации взрывчатого превращения ВВ на основе закона Авогадро, согласно которому объем, занимаемый одним молем газа при температуре 0 и давлении 1,01⋅105 Па, равен 22,4 л.

Отсюда получаем выражение для определения объема ПВ (м3/кг):

– для индивидуального ВВ:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | | | | (2.15) |
|  | | | | |
| где |  | | – количество грамм-молекул газообразных ПВ; | |
|  |  | – молекулярная масса ПВ, г-моль. | | |

– для многокомпонентного смесевого ВВ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.16) |

**Пример 6.1.** Определить объем продуктов взрыва, образующихся при взрыве индивидуального ВВ – тротила (ТНТ).

Реакция взрывчатого превращения ТНТ

*С7Н5(NO2)3* = 3,5*СО* + 2,5*Н2О* + 3,5*С* + 1,5*N2*.

Объем продуктов взрыва, образующихся при взрыве (ТНТ) определяем по ф-ле 15. При расчете объема продуктов взрыва учитывают только газообразные их составляющие.

|  |
| --- |
|  |

**Пример 6.2.** Определить объем продуктов взрыва, образующихся при взрыве смесевого ВВ – аммонита 6ЖВ.

Реакция взрывчатого превращения аммонита 6ЖВ:

Объем продуктов взрыва, образующихся при взрыве аммонита 6ЖВ, определяем по ф-ле 2.16:

|  |
| --- |
|  |

**Пример 6.3.** Определить объем продуктов взрыва, образующихся при взрыве смесевого ВВ – гранулита АС8.

Реакция взрывчатого превращения гранулита АС8:

Объем продуктов взрыва, образующихся при взрыве гранулита АС8, определяем по ф-ле 16:

|  |
| --- |
|  |

***Задания к выполнению контрольной работы №6.***

Определить объем газообразных продуктов взрыва:

а) для индивидуального ВВ – ***гексогена;***

б)смесевых ВВ ***аммонала, гранулита А6 и гранулита М.***

**Контрольная работа №7. Расчет давления газообразных ПВ**

Давление газов в зарядной камере при взрыве конденсированных ВВ () может быть определено, исходя из объединенных законов Бойля-Мариотта и Гей-Люссака с поправкой Ван-дер-Ваальса:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (2.17) |
|  | | | |
| где |  | – атмосферное давление газов при *0* и давлении 1,01⋅105 Па; | |
|  |  | – температура взрыва в градусах по Кельвину, *0К*, | |
|  |  | | |
|  |  | – объем зарядной камеры (заряда ВВ), м3; | |
|  |  | – объем газообразных ПВ, м3; | |
|  |  | – поправка, учитывающая собственный объем молекул продук- | |
|  | тов взрыва – несжимаемая часть газа или коволюм, м3. | | |

Заменяем в формуле *V = 1/Δ*, т.е. на объем, занимаемый 1 кг ВВ при плотности *Δ*, получаем:

Величина *α* зависит от плотности заряжания. Если плотность заряжания ВВ не высока (*Δ* < 1000 кг/м3), то приближенно можно принять *α* = 0,001*·V*ПВ. Для более высоких плотностей (*Δ*>1000 кг/м3) для расчетов принимают *α* = 0,0006*·V*ПВ. Здесь Δ – плотность заряжания ВВ, кг/м3.

**Пример 7.1.** Определить давление продуктов взрыва тротила (ТНТ) при плотности *Δ* =1660,0 кг/м3.

Давление газов в зарядной камере при взрыве ТНТ составит:

**Пример 7.2.** Определить давление продуктов взрыва аммонита 6ЖВ при плотности *Δ* = 1150,0 кг/м3.

Давление газов в зарядной камере при взрыве аммонита 6ЖВ составит:

**Пример 7.3.** Определить давление продуктов взрыва гранулита АС8 при плотности *Δ* = 1000,0 кг/м3.

Давление газов в зарядной камере при взрыве гранулита АС8 составит:

***Задания к выполнению контрольной работы № 7.***

Определить давление газообразных продуктов взрыва:

а) для индивидуального ВВ – ***гексогена;***

б)смесевых ВВ ***аммонала, гранулита А6 и гранулита М.***

**Контрольная работа № 8. Определение скорости детонации ВВ**

Для приближенной оценки скорости детонации ВВ () можно воспользоваться выражением:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (2.18) |
|  | | | |
| где |  | – скорость детонации эталонного ВВ при соответствующей | |
|  | плотности заряжания, м/с; | | |
|  |  | – теплота взрыва ВВ, кДж/кг; | |
|  |  | – теплота взрыва эталонного ВВ, кДж/кг; | |

В качестве эталонного ВВ принимается аммонит 6ЖВ, скорость детонации которого равна 3600 м/с при плотности заряжания 1 г/см3. Его скорость детонации () пересчитывается с учетом реальной плотности заряда ВВ по формуле:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | | (2.19) |
|  | | | |
| где |  | – плотность заряжания ВВ, г/см3. | |

**Пример 8.1.** Определить скорость детонации тротила при плотности заряжания = 1,66 г/cм3. Теплота взрыва тротила составляет 4154 кДж/кг.

Вначале по формуле (19) определяем ():

Теплота взрыва () аммонита 6ЖВ составляет 4312 :

Скорость детонации тротила определяем по выражению (2.18):

**Пример 8.2.** Определить скорость детонации аммонита 6ЖВ при плотности заряжания = 1,15 г/cм3. Теплота взрыва составляет 4154 кДж/кг.

Вначале по формуле (19) определяем ():

Поскольку испытуемое ВВ аммонит 6ЖВ, то справедливым будет равенство:

**Пример 8.3.** Определить скорость детонации гранулита АС8 при плотности заряжания = 1,1 г/cм3. Теплота взрыва составляет 5225 кДж/кг.

Вначале по формуле (19) определяем ():

Теплота взрыва () аммонита 6ЖВ составляет 4312 :

Скорость детонации тротила определяем по выражению (18):

***Задания к выполнению контрольной работы №8.***

Определить скорости детонации:

а) для индивидуального ВВ – ***гексогена;***

б)смесевых ВВ ***аммонала, гранулита А6 и гранулита М.***

**Оформление письменной работы согласно МИ -01-03-2023** [Общие требования к построению и оформлению учебной текстовой документации](http://zabgu.ru/files/html_document/pdf_files/fixed/Normativny%27e_dokumenty%27_i_obrazcy%27_zayavlenij/Obshhie_trebovaniya_k_postroeniyu_i_oformleniyu_uchebnoj_tekstovoj_dokumentacii.pdf)

**Перечень вопросов к экзамену**

1. Исторические сведения о развитии взрывного дела в России и за рубежом.
2. Раскрыть понятия: «взрыв», «физический», «химический» и «ядерный» взрывы.
3. Индивидуальные ВВ и их классификация.
4. Механические взрывчатые смеси и их компоненты, нитроэфирные ВВ и специфика работы с ними.
5. Классификация ВВ по способу возбуждения в них реакции взрывчатого превращения.
6. Методика расчета кислородного баланса индивидуальных ВВ и механических взрывчатых смесей.
7. Общие сведения об исходных компонентах и продуктах взрыва зарядов ВВ.
8. Основные физико-химические характеристики ВВ.
9. Формы взрывчатого превращения ВВ при их детонации.
10. Начальный импульс для возбуждения детонации ВВ.
11. Методика определения объема газов, выделяющихся в результате взрывчатого превращения заряда ВВ и теплоты взрыва.
12. Определение температуры и давления, вызываемых реакцией взрывчатого превращения.
13. Понятие о детонации, детонационной волне и скорости ее распространения.
14. Факторы, определяющие динамику распространения детонационной волны.
15. Приборы для определения работоспособности ВВ и методика ее расчета.
16. Понятие «бризантность ВВ» и методика определения бризантности ВВ.
17. Чувствительность ВВ к удару. Передача детонации на расстояние.
18. Окислители и горючие добавки, входящие в состав ВВ.
19. Сенсибилизаторы, стабилизаторы и флегматизаторы, входящие в состав ВВ.
20. Сущность эффекта «кумуляция» и средства к его достижению.
21. Сплошные, сосредоточенные и удлиненные (колонковые) заряды.
22. Способы и средства достижения эффекта гладкого (контурного) взрывания.
23. Внутреннее и наружное действие заряда ВВ в горной породе, понятие «воронка взрыва».
24. Баланс энергии ВВ при взрыве и сейсмическое действие взрыва заряда на окружающую среду.
25. Промышленные взрывчатые материалы. Основные принципы допуска ВМ к применению в шахтах не опасных по газу и пыли.
26. Классификация промышленных ВВ по их агрегатному состоянию.
27. Классификация промышленных ВВ по условиям их применения («предохранительности»).
28. Способы и средства заряжания шпуров, их сравнительная характеристика.
29. Средства механизации процесса размещения гранулированных ВВ в зарядных камерах.
30. Способы и средства инициирования зарядов ВВ при различных способах взрывания. Изготовление патронов-боевиков.
31. Средства огневого инициирования зарядов и их устройство.
32. Средства электро-огневого инициирования зарядов и их устройство.
33. Зажигательная трубка. Регулирование очередности взрывания зарядов при огневом и электро-огневом способах их инициирования.
34. Средства электрического способа инициирования зарядов ВВ.
35. Требования правил безопасности к монтажу взрывной сети при электрическом способе инициирования.
36. Схемы взрывной сети при электрическом способе инициирования зарядов и основные принципы методики ее расчета.
37. Конструкции зарядов взрывных скважин при различной их глубине.
38. Системы неэлектрического инициирования «НОНЕЛЬ», «СИНВ-Ш» и «СИНВ-С».
39. Схемы взрывной сети при неэлектрическом способе инициирования зарядов и методика их расчета.
40. Содержание паспорта буровзрывных работ на проходку подземной горной выработки.
41. Квалификационные требования к персоналу для производства взрывных работ и разрешительная документация на производство работ.
42. Методика определения безотказности взрывания зарядов ВВ.
43. Основные организационные мероприятия при подготовке к проведению и проведении массовых взрывов.
44. Классификация ВВ по степени опасности при их хранении и перевозке.
45. Требования правил безопасности к транспортировке ВМ и погрузочно-разгрузочным работам.
46. Требования правил безопасности к хранению ВМ.
47. Типы складов ВМ.
48. Мероприятия по защите территории склада ВМ от несанкционированного доступа и стихийных бедствий.
49. Основной и вспомогательный персонал складов ВМ.
50. Регламент и виды испытаний ВМ.
51. Порядок уничтожения ВМ.

**Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

**Основная литература**

1. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ: учебник для вузов. Ч. 2 : Взрывные работы в горном деле и промышленности / Б.Н. Кутузов. – Москва: Горная книга; Мир горной книги; МГГУ, 2008. - 512с.

2. Комащенко В.И. Взрывные работы : учебник / В.И. Комащенко, В.Ф. Носков. Т.Т. Исмаилов – Москва: Высшая школа, 2007. - 439с.

**Дополнительная литература**

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых» (утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 декабря 2020 года, № 505).

2. Перечень взрывчатых материалов, оборудования и приборов взрывного дела, допущенных к применению в российской федерации (утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 сентября 2011 г. N 537).

3. Миндели Э.О. Разрушение горных пород./Э.О. Миндели. – М.: Недра, 1977. – 322 с.4.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ведущий преподаватель |  | доцент кафедры В.Е Подопригора |
|  |  |  |
|  |  |  |
| Заведующий кафедрой |  | канд.техн.наук, доцент  В.В. Медведев |