

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра взрывного дела

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2021

УДК 622.235 (073)

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ:
Методические указания к самостоятельным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.В. Должиков, М.А. Маринин, В.А. Ишейский*. СПб, 2021. 41 с.

Изложен теоретический материал для самостоятельного изучения дисциплины «Технология и безопасность взрывных работ» и контрольные вопросы по каждой теме, а также практические задачи.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело».

Научный редактор доц. *С.В.Хохлов*

Рецензент к.т.н. *А.В. Трофимов* (ООО «Институт Гипроникель»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2021

ТЕХНОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.04*

Сост. *В.В. Должиков, М.А. Маринин, В.А. Ишейский*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
взрывного дела

Ответственный за выпуск *В.В. Должиков*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 04.06.2021. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,4. Усл.кр.-отт. 2,4. Уч.-изд.л. 2,1. Тираж 75 экз. Заказ 536.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ» составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Технология и безопасность взрывных работ» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело».

Настоящие методические указания содержат краткие теоретические сведения по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ» и список рекомендуемой литературы.

Цель учебной дисциплины: является приобретение студентами знаний и навыков, необходимых для успешного выполнения работ, связанных с проектированием и применением современных технологий буровзрывных работ при разработке месторождений полезных ископаемых.

Основные задачи учебной дисциплины:

- **изучение** общих правил подготовки и производства взрывов;

- **овладение** методами ведения взрывных работ в различных условиях;

- **формирование** связного представления о взрывных технологиях и системе обеспечения их безопасности в горном деле и строительстве;

- **усвоение** базисных основ правил безопасности и современной технологии ведения взрывных работ.

Курс «Технология и безопасность взрывных работ» включает установочные лекции, самостоятельную работу студентов с настоящими методическими материалами, работу с рекомендованной литературой и выполнение контрольной работы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Теория взрыва и взрывчатые вещества

Взрыв - это процесс чрезвычайно быстрого физического, химического или ядерного превращения системы, сопровождающийся переходом потенциальной энергии в механическую работу.

ВВ - это химические соединения или механические смеси нескольких соединений, способные под влиянием внешних воздействий к взрывчатому превращению с выделением тепла и продуктов взрыва (ПВ).

Взрыв протекает в две стадии:

1) образование сильно сжатых газов (ПВ); высокое давление на данной стадии объясняется тем, что образовавшиеся ПВ занимают объем самого заряда ВВ;

2) расширение ПВ, совершающих при этом механическую работу.

Детонация - это самораспространяющаяся реакция взрывчатого превращения, обусловленная прохождением по массе ВВ ударной волны и протекающая со сверхзвуковой скоростью, постоянной для данного вида ВВ и заданного диаметра его заряда.

Ударная волна - это область сжатия с резким скачком температуры, давления и плотности среды на фронте. Ударные волны возникают в различных средах: воде, воздухе, породах - и распространяются со сверхзвуковой скоростью. Процесс распространения ударных волн в инертных средах необратим и сопровождается потерями энергии, затрачиваемой на нагрев среды. Затухая, ударная волна вырождается в звуковую.

Комплекс, состоящий из ударной волны, зоны превращения и конечных продуктов, называется детонационной волной.

Бризантность - это способность ВВ производить сильное местное разрушение в результате удара ПВ по среде, примыкающей к заряду. Величина бризантности пропорциональна скорости детонации и детонационному давлению.

Работоспособность (фугасность) - это способность ВВ производить работу в процессе расширения ПВ. В твердой среде работоспособность ВВ определяет разрушающее действие на значительном расстоянии от заряда (фугасное действие). Величина работоспособности пропорциональна теплоте взрыва.

Гигроскопичность - способность промышленных ВВ поглощать влагу из окружающей атмосферы. Способность к увлажнению аммиачноселитренных ВВ обусловлена высокой гигроскопичностью основного компонента - аммиачной селитры, что приводит к ослаблению и полной потере взрывчатых составов. Накопившаяся влага флегматизирует ВВ.

Слеживаемость - способность некоторых порошкообразных веществ терять при хранении сыпучесть и превращаться в прочную сплошную массу. Слежавшиеся патроны ВВ имеют повышенную опасность. В такие патроны затруднено введение детонатора. Слежавшиеся аммониты (особенно в патронах малого диаметра) мало восприимчивы к первичным средствам инициирования, отличаются пониженной детонационной способностью.

Химическая стойкость (стабильность) характеризует скорость разложения ВВ при хранении. Если ВВ обладает низкой стабильностью, то в результате хранения больших его количеств может произойти самоускоряющееся разложение и взрыв. В этом случае продукты первичного распада катализируют дальнейшую реакцию, ускоряют таким образом процесс разложения.

Водоустойчивость - способность ВВ сохранять взрывчатые свойства при погружении в воду. Для повышения водоустойчивости ВВ разработано много способов, один из которых заключается во введении стеарата кальция или цинка в порошкообразные нитроглицериновые ВВ - детониты, углениты и др. Для снижения смачивающей способности жидких нитроэфиров в этих ВВ их слабо желатинируют коллоидным хлопком. Степень водоустойчивости принято оценивать: для непатронированных взрывчатых веществ порошкообразного типа путем определения гидростатического давления столба воды, которое необходимо для продавливания воды через слой взрывчатых веществ определенной толщины; для патронированных - по максимальному расстоянию передачи

детонации между патронами, выдержанными в воде на определенной глубине в течение заданного времени; для аммиачно-селитренных гранулированных и водосодержащих - по количеству селитры, перешедшей из них в раствор при выдерживании в воде определенное время.

Уплотняемость - качество ВВ, определяющее плотность заряжения зарядной емкости. Уплотняемость возрастает при наличии жидкой фазы в ВВ.

Сыпучесть - способность ВВ легко транспортироваться по трубам и шлангам к месту заряжения, свободно высыпаться, хорошо заполнять пространство скважин. Сыпучесть иногда определяют углом естественного откоса. Гранулиты, гранулотол - промышленные ВВ, характеризующиеся хорошей сыпучестью.

Старение - обратимое ухудшение взрывчатых свойств ВВ при хранении, вызванное физико-химическими изменениями в веществе в результате внутренних процессов или взаимодействия с внешней средой. В связи с процессами старения для всех пластичных взрывчатых веществ устанавливается гарантийный срок хранения, в течение которого гарантировано сохранение основных показателей технических условий не ниже регламентированных норм.

Летучесть - способность некоторых жидких компонентов ПВВ испаряться. К таким компонентам относятся нитроглицерин, динитроэтиленгликоль, нитрогликоль. Потеря веса таких ВВ приводит к весьма заметному изменению их взрывчатых свойств.

Экссудация - процесс выделения жидкой фазы из твердой многокомпонентной системы. Это явление наблюдается при старении динамитов, в результате которого на поверхности зарядов появляются капельки чистого нитроглицерина, при этом изменяются взрывчатые характеристики, возрастает опасность в обращении с такими ВВ.

Кислородный баланс - отношение избытка или недостатка кислорода во взрывчатом веществе, необходимого для полного окисления горючих элементов до их высших окислов. Обычно величина кислородного баланса выражается в процентах.

В основе расчета теплового эффекта взрывчатого превращения ВВ используется закон Гесса, 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.

Объем газообразных ПВ определяется по реализации взрывчатого превращения ВВ на основе закона Авогадро, согласно которому объем, занимаемый одним молем газа при температуре 0°C и давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па, равен 22,4 л.

Контрольные вопросы

1. Дайте определения понятиям «взрыв», «взрывчатое вещество», «массив горных пород».
2. Перечислите технологические характеристики взрывчатых веществ.
3. Что такое «кислородный баланс» взрывчатого вещества?
4. На основании какого закона рассчитывается теплота взрывчатого превращения ВВ? Сформулируйте этот закон.
5. На основании какого закона рассчитывается объем газообразных продуктов взрыва? Сформулируйте этот закон.

2. Средства и способы взрывания зарядов

Иницирующие ВВ - это ВВ, характеризующиеся повышенной чувствительностью к внешним воздействиям (удару, наколу, лучу огня, нагреванию) и очень коротким периодом нарастания скорости детонации (детонируют в небольших массах - долях граммов)

Гремучая ртуть. $\text{Hg}(\text{CNO}_2)$ (ртутная соль гремучей кислоты). Это мелкокристаллическое вещество белого или серого цвета; получается из металлической ртути путем обработки ее этиловым спиртом в азотной кислоте. Сухая гремучая ртуть чувствительна к огню и к механическим воздействиям. Температура вспышки (при этом происходит детонация) $160-165^\circ\text{C}$. Чувствительность к удару – 2 см, работоспособность – 110см^3 . При царапании или перемалывании возникает взрыв.

Азид свинца. PbN_6 (свинцовая соль азотистоводородной кислоты). Это мелкокристаллический порошок белого цвета, соль азотистоводородной кислоты HN_3 плотность кристаллов 4800 кг/м^3 . Влаги не боится и при содержании ее до 30% не теряет взрывчатых свойств. Азид свинца менее чувствителен к огню и механическим воздействиям, чем гремучая ртуть. Температура вспышки (при этом происходит детонация) равна 330°C , чувствительность к удару 6 см, работоспособность 115см^3 .

ТНРС (тенерес) $\text{C}_6\text{H}(\text{NO}_2)_3\text{O}_2\text{Pb}$ золотистожелтый кристаллический порошок. По чувствительности занимает промежуточное положение между азидом свинца и гремучей ртутью. По иницирующей способности значительно слабее указанных выше ВВ. Поэтому

Тетрил. $\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_5\text{O}_8$. Это мелкокристаллическое ВВ бледно-желтого цвета. Температура вспышки 190°C , работоспособность 380 см^3 , бризантность 22мм, чувствительность к удару 30см. Тетрил очень восприимчив к детонации и хорошо передает ее другим ВВ. Практически не гигроскопичен, не растворим в воде и обладает сравнительно высокой химической стойкостью.

Тэн (тетранитропентаэритрит). $\text{C}_5\text{H}_8(\text{ONO}_2)_4$. Это кристаллический порошок белого цвета. Температура вспышки 220°C , работоспособность 500 см^3 , бризантность 25 мм,

чувствительность к удару 30 см. В детонаторах ТЭН прессуется до плотности 1620 кг/м^3 , влаги не боится. Скорость детонации $8,2 \dots 8,7 \text{ км/с}$. Применяется при изготовлении детонирующих шнуров, а так же промежуточных детонаторов.

Гексоген. $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$. Это кристаллический порошок белого цвета. Температура вспышки 290°C , работоспособность 520 см^3 , бризантность 29мм, чувствительность к удару 30 см. Один из мощных однокомпонентных ВВ. Применяется во всех типах детонаторов как вторичное ВВ и в составе мощных аммиачно-селитренных ВВ. Кроме того, используется в сплавах с тротилом для изготовления шашек (ТГ-500), применяемых в качестве промежуточных детонаторов.

Взрывание – процесс детонирования зарядов ВВ в заданной последовательности и в определённый промежуток времени, осуществляемый средствами инициирования (СИ), передающими импульс заряду ВВ и тем самым вызывающими (возбуждающими) его детонацию.

По виду применяемых СИ, вызывающих детонацию зарядов, на горных предприятиях применяют следующие способы взрывания: огневой, электроогневой, электрический, с помощью детонирующего шнура (бескапсульный), неэлектрический и электронный.

По величине интервала времени замедления между зарядами различают мгновенное, короткозамедленное и замедленное взрывание.

Короткозамедленное взрывание есть последовательное взрывание серий или отдельных зарядов с интервалами в тысячные доли секунды. Этот способ взрывания называют иногда миллисекундным. Основными факторами, определяющими эффективность короткозамедленного взрывания, являются:

- интервал замедления;
- последовательность разрушения участков массива.

Перечисленные параметры применяются в зависимости от свойств горных пород, схемы расположения зарядов и задачи взрыва. При КЗВ происходит не только взаимодействие взрывов

соседних зарядов, но и смежных серий. Эффективность разрушения при КЗВ определяется следующими факторами:

- интерференцией волн напряжений от соседних зарядов(достигается при малых интервалах замедлений);
- образованием дополнительных открытых поверхностей (при средних интервалах замедлений);
- соударением разлетающихся кусков при взрыве соседних зарядов (при больших интервалах замедлений).

Перечисленные факторы являются составными элементами единого процесса взаимодействия зарядов при короткозамедленном взрывании. Интерференция волн напряжений происходит в том случае, когда направления смещения частиц от предыдущего взрыва совпадают, при этом увеличиваются суммарные смещения, напряжения и интенсивность разрушения массива. Интерференция волн напряжений происходит в том случае, когда направления смещения частиц от предыдущего взрыва совпадают, при этом увеличиваются суммарные смещения, напряжения и интенсивность разрушения массива. Расчетный интервал замедления должен быть в пределах 25-75мс. С увеличением крепости пород интервал замедления уменьшается.

Соударение кусков породы, перемещающихся в результате взрыва, обусловлено тем , что разные участки массива при взрыве имеют разные скорости и направления движения. При столкновении кусков происходит их дополнительное дробление. Опыт показывает, что дробление породы существенно улучшается, если траектории разлета кусков породы пересекаются под углом 90°.

При короткозамедленном взрывании процесс разрушения массива зарядами первой очереди протекает так же, как и в результате действия одиночного заряда ВВ. При взрыве группы зарядов второй и следующих очередей с малыми интервалами замедлений в массиве возникает сложная картина интерференции волн напряжения. Время, в течение которого массив находится в напряженном состоянии, увеличивается, происходит уменьшение сейсмического эффекта действия взрыва на окружающие сооружения.

Одной из разновидностей способа КЗВ является взрывание с внутрискважинными миллисекундными замедлителями отдельных частей зарядов в скважинах, что позволяет увеличить импульс действия взрыва на массив. В результате этого достигаются лучшие результаты взрыва по дроблению и сейсмике.

Контрольные вопросы

1. Перечислите особенности инициирующих ВВ.
2. Назовите взрывчатые характеристики гремучей ртути.
3. Назовите взрывчатые характеристики азида свинца.
4. Назовите взрывчатые характеристики ТНРСа.
5. Назовите взрывчатые характеристики тетрила.
6. Назовите взрывчатые характеристики ТЭНа.
7. Назовите взрывчатые характеристики гексогена.
8. Взрывание - это...
9. Перечислите способы инициирования ВВ.
10. Какими факторами определяется эффективность разрушения при короткозамедленном взрывании?

3. Методы и технология взрывных работ

Доля энергии взрыва, расходуемая на дробление и перемещение горных пород, весьма незначительна и составляет 10-15 % от потенциальной энергии ВВ.

Технология ведения взрывных работ на горных предприятиях определяется принятым методом взрывания, который включает в себя систему приёмов и способов подготовки зарядных выработок для размещения в них зарядов ВВ с целью решения определенной технической задачи (дробление, перемещение, выброс, сброс и т. д.). В качестве зарядных камер используются шпуровые, скважинные, котловые, рукавные, камерные, щелевые и траншейные.

В зависимости от целей взрывания, величины и формы зарядов ВВ на горных предприятиях при проведении горно-разведочных выработок и добыче полезных ископаемых применяются методы шпуровых, скважинных, сосредоточенных (камерных и малокамерных), котловых и накладных (наружных) зарядов.

Методом шпуровых зарядов называется совокупность технических приемов и способов по подготовке и производству взрывов зарядов ВВ в шпурах, включая все операции (бурение, очистку шпуров, подготовку ВВ и боевиков, зарядание и забойку шпуров, монтаж взрывной сети и взрывание). Шпуровые заряды используют при проведении подземных выработок, при разработке уступов высотой до 5 м, добыче кристаллического сырья, мраморных и гранитных блоков, проходке канав и траншей.

При проведении горно-разведочных выработок основными параметрами взрывной отбойки являются: число, глубина и диаметр шпуров, коэффициент использования шпуров и удельный расход ВВ.

Метод скважинных зарядов применяется при добыче полезных ископаемых, посадке потолочин, выемке целиков и проходке восстающих выработок, траншей и котлованов, в гидротехническом и транспортном строительстве. Метод скважинных зарядов по сравнению со шпуровым имеет ряд достоинств: высокая (в 3 раза и более) производительность труда забойного рабочего; сокращение объёма трудоемких подготовительно-нарезных работ вследствие

увеличения расстояния между выработками, из которых ведётся отбойка; возможность выемки без закладки и крепления очистного пространства даже при невысокой устойчивости массива горных пород; использование комплексной механизации труда; высокая безопасность работ и хорошие условия труда (рабочие при бурении находятся в специальных буровых выработках или буровых камерах).

К недостаткам скважинной отбойки относятся: невозможность применения при разработке маломощных залежей вследствие большого разубоживания руды; трудность применения при разработке системами с креплением очистного пространства; увеличение выхода крупных фракций и меньшая точность контуров отбойки по сравнению со шпуровым методом; увеличение расходов на вторичное взрывание; обрушение руды за контурами скважин, особенно при недостаточно устойчивой руде и большом (свыше 100 мм) диаметре скважины; высокое сейсмическое действие взрыва.

Метод котловых зарядов – комплекс технических приемов и способов подготовки и взрывания зарядов, включающий в себя бурение, простреливание скважин, зарядание, монтаж сети, взрывание и осмотр места взрыва. Этот метод применяют в следующих случаях: а) при больших сопротивлениях по подошве уступа, когда расчётный заряд ВВ, необходимый для разрушения нижней части уступа, не может быть полностью размещён в скважине, а также когда линия с.п.п. настолько велика, что заряд, размещённый в нижней части скважины, не в состоянии её преодолеть; б) при наличии трудновзрываемых пород в нижней части уступа; в) при обрушении высоких вскрышных уступов скальных пород.

Достоинствами котлового метода взрывания являются: резкое снижение расхода бурения, увеличение возможности преодоления больших с.п.п., уменьшение длины перебура.

К недостаткам относятся: высокая трудоёмкость работ по образованию котлов, особенно при простреливании и чистке скважин; неравномерность дробления трудновзрываемых пород; нарушение режима работы при прострелочных работах. Метод котловых зарядов обладает низкой надёжностью взрывания, поэтому на горных предприятиях применяется в исключительных случаях.

Метод камерных зарядов. Отбойка уступов камерными зарядами на карьере мало распространена из-за большой трудоёмкости проведения подготовительных выработок. Этот метод применяется в том случае, когда необходимо взрывать большие объёмы горной массы, как на вскрышных, так и добычных работах при высоте уступа более 12 м, а также при взрывах на сброс и выброс при создании плотин и насыпей. Сущность его заключается в том, что заряды располагают в специально пройденных горных выработках – зарядных камерах с целью разрушения массива горных пород взрыванием сосредоточенных зарядов большой мощности.

Для обеспечения максимального сосредоточения зарядов камере придают по возможности кубическую форму. При больших зарядах, порядка десятков тонн – крестообразную, кроме того, они могут быть параллелепипедальной и фигурной форм.

Метод камерных зарядов получил распространение при подземной разработке крепких и весьма крепких горных пород. Ведение взрывных работ данным способом представляет особую сложность, так как при этом приходится взрывать большие объёмы ВВ, что требует очень точных расчётов параметров.

Метод малокамерных зарядов применяется ограниченно из-за низкой производительности взрывников, большой трудоёмкости проходки рукавов и повышенной опасности ведения взрывных работ. На карьерах этот метод может быть использован при высоте уступа до 8 м.

Метод накладных зарядов. Накладным зарядом называют заряд ВВ, располагаемый на поверхности разрушаемого объекта.

Контрольные вопросы

1. Какова доля энергии взрыва, расходуемая на дробление и перемещение горных пород?
2. Перечислите методы взрывания.
3. Перечислите основные параметры шпуровой отбойки.
4. Область применения метода скважинных зарядов.
5. Перечислите недостатки метода котловых зарядов.
6. Область применения метода камерных зарядов.

4. Организация и безопасность взрывных работ

ВМ должны храниться в предназначенных для этой цели помещениях и местах, отвечающих установленным требованиям. Организация хранения ВМ должна исключать их утрату, а условия хранения - порчу. Классификации складов ВМ приведены в табл.1.

Таблица .1

Классификация складов

МЕСТО РАСПОЛОЖЕНИЯ	
Поверхностные	Основания хранилищ складов расположены на уровне поверхности земли
Полууглубленные	Склады, здания хранилищ которых углублены в грунте ниже земной поверхности не более чем на карниз
Углубленные	Толща грунта над хранилищем склада составляет менее 15 м
Подземные	Толща грунта над хранилищем склада составляет более 15 м
СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ (исчисляется с момента завоза ВМ)	
Постоянные	Срок эксплуатации 3 года и более
Временные	Срок эксплуатации до 3 лет
Кратковременные	До 1 года (эксплуатация кратковременных складов может быть продлена на один последующий срок при условии повторной приемки комиссией)
НАЗНАЧЕНИЕ	
Базисные	Являются самостоятельной административно-хозяйственной единицей, находящейся в подчинении объединений, комбинатов или специализированных предприятий; получают ВМ непосредственно от заводов-изготовителей
Расходные	Находятся в ведении отдельных горных предприятий (рудников, шахт, карьеров, разрезов); снабжаются от базисных складов

ВМ на складах должны размещаются с учетом их совместимости при хранении. ВМ различных групп совместимости должны храниться отдельно, допускается совместное хранение (табл.2).

Совместное хранение ВМ

1	Дымные пороха (группа совместимости D)	Бездымные пороха (группа совместимости C)
2	ОШ, средства зажигания, сигнальные и пороховые патроны и сигнальные ракеты (группа совместимости G)	ВМ групп совместимости B, C и D
3	ДШ и детонирующей ленты (группа совместимости D)	Капсюля-детонаторы, ЭД и пиротехнические реле (группа совместимости B)

Доставленные на места хранения ВМ должны быть помещены в хранилища, на площадки и оприходованы. Организация обязана вести учет прихода и расхода ВМ на складах ВМ в книге учета прихода и расхода ВМ и книге учета выдачи и возврата ВМ.

Индивидуальные заводские номера изделий с ВВ, а также индивидуальные маркировочные индексы СИ при выдаче взрывникам должны регистрироваться в книге учета выдачи и возврата ВМ.

В приходно-расходных документах не допускаются записи карандашом, помарки и подчистки записей, а всякого рода исправления должны выполняться проставлением новых цифр. Каждое исправление должно быть объяснено и подписано лицом, внесшим его.

Приходно-расходные документы должны храниться в организации не менее трех лет.

На складе ВМ должны быть образцы подписей лиц, имеющих право подписывать наряд-путевки и наряд-накладные на отпуск ВМ, а также образцы подписей лиц, имеющих право подтверждать фактический расход ВМ. Образцы подписей должны быть заверены руководителем организации. Отпуск ВМ по указанным документам, подписанным другими лицами, запрещается.

Порядок учета ВМ в раздаточных камерах должен быть аналогичным установленному для складов ВМ.

На базисном складе ВМ допускается выполнять операции по выдаче взрывникам ВМ для производства взрывных работ и

приемке от них остатков ВМ в порядке, установленном распорядительным документом организации.

Для получения ВМ, прибывших на станцию железной дороги, пристань, другой транспортный пункт, руководитель организации обязан направить ответственного за прием работника с доверенностью и охрану.

Организация должна вести учет прихода и расхода ВМ на основании приходно-расходных документов, представляемых заведующими складами ВМ.

Правильность учета, хранения и наличия ВМ на складах должна проверяться ежемесячно лицами, назначенными распорядительным документом организации. Допускается не распаковывать невскрытые ящики, мешки, пакеты, коробки и контейнеры при исправности и целостности пломбы и упаковки.

Число ЭД, капсюлей-детонаторов, пиротехнических реле, других СИ во вскрытых ящиках должно проверяться в тамбуре хранилища, в отдельной камере или вне хранилища. При этом изделия необходимо выкладывать на столы, отвечающие установленным требованиям.

В случае выявления при проверке недостачи или излишков ВМ об этом немедленно должно быть сообщено руководителю организации, территориальному органу Службы и органам внутренних дел.

Книга учета прихода и расхода ВМ. Книга учета прихода и расхода ВМ должна быть пронумерована, прошнурована и скреплена печатью или пломбой территориального органа Службы. Книгу ведут заведующие и раздатчики базисных и расходных складов ВМ. ВМ каждого наименования учитываются отдельно.

Остаток ВМ по каждому наименованию должен быть подсчитан и занесен в книгу на конец текущих суток. Записи в книге необходимо делать только по тем ВМ, количество которых изменилось за сутки.

Книга учета выдачи и возврата ВМ. Книга учета выдачи и возврата ВМ должна быть пронумерована, прошнурована и скреплена печатью или пломбой территориального органа Службы. Книга учета выдачи и возврата ВМ оформляется в складах и

раздаточных камерах, из которых производится выдача ВМ взрывникам и прием от них остатков ВМ. Она также ведется заведующим складом и раздатчиками.

В конце каждого суток необходимо подсчитать, сколько и каких (по наименованиям) ВМ израсходовано, и под чертой записать их расход (отпущенные ВМ за вычетом возвращенных). Выведенное в книге количество израсходованных за сутки ВМ записывается ежедневно в книгу учета прихода и расхода ВМ.

Наряд-накладная. Наряд-накладная используется для оформления отпуска ВМ с одного места хранения на другое и должна выдаваться бухгалтерией получателю для предъявления на склад вместе с доверенностью на получение ВМ.

Заведующий складом (раздатчик), отпустив ВМ, один экземпляр наряд-накладной обязан хранить на складе, другой выдать получателю как сопроводительный документ и два экземпляра с доверенностью получателя передать в бухгалтерию. Один из экземпляров остается при бухгалтерской проводке для списания ВМ со склада, а другой - при счете или авизо направляется получателю.

При передаче ВМ с одного склада ВМ на другой, принадлежащих одной и той же организации, наряд-накладная должна выписываться в трех экземплярах. Заведующий складом, отпустив ВМ, два экземпляра обязан оставить на складе и один экземпляр выдать получателю как сопроводительный документ.

При доставке ВМ со склада на склад доставщик, получивший ВМ, и заведующий складом (раздатчик), выдавший ВМ, обязаны расписаться в наряд-накладной о получении и выдаче ВМ.

По наряд-накладным также проводится отпуск доставщикам ВМ со склада для перевозки в участковые пункты хранения и к местам массовых взрывов. В таких случаях наряд-накладная может подписываться руководителем взрывных работ или начальником цеха (службы) взрывных работ в двух экземплярах. Заведующий складом (раздатчик), отпустив затребованные ВМ, один экземпляр наряд-накладной обязан хранить на складе, другой – выдать доставщику как сопроводительный документ.

Движение ВМ в участковых пунктах хранения должно учитываться в книге учета прихода и расхода ВМ.

Наряд-путевка. Наряд-путевка на производство взрывных работ служит для отпуска ВМ взрывникам. Наряд-путевку подписывает руководитель взрывных работ.

После взрывных работ взрывник, на имя которого выписана наряд-путевка, и руководитель взрывных работ в смене должны подтвердить своими подписями в наряд-путевке фактический расход ВМ по назначению.

Остатки ВМ, а также наряд-путевки по окончании взрывных работ сдаются взрывниками лично на склады ВМ (раздаточные камеры, участковые пункты хранения).

ВМ не должны выдаваться взрывникам, не отчитавшимся в израсходовании ранее полученных ВМ.

Наряд-путевка является на складе основанием для записи выданных ВМ в Книгу учета выдачи и возврата ВМ, а заполненная после окончания работы – для списания их в Книге учета прихода и расхода ВМ.

Хранение ВМ на местах производства взрывных работ. ВМ, доставленные к местам работ, должны находиться в сумках, кассетах или в заводской упаковке, а также в спецмашинах и контейнерах.

При производстве взрывных работ на открытых горных разработках находящиеся на блоке ВМ и заряженные скважины должны охраняться при обязательном искусственном освещении в темное время. В необходимых случаях ВМ должны быть защищены от атмосферных осадков.

ВМ разрешается хранить до заряжания на местах работ в размере суточной потребности вне запретной зоны и сменной потребности в пределах запретной зоны, за исключением массовых взрывов, когда в запретной зоне может находиться под охраной подлежащее заряжанию количество ВВ. СИ и боевики должны храниться отдельно, на расстоянии, исключающем передачу детонации.

При производстве взрывных работ перед началом заряжания с момента доставки ВМ к местам производства работ вводится

запретная зона, в пределах которой запрещается находиться людям, не связанным с заряданием (табл.3).

Таблица 3

Запретная и опасная зоны

Открытые горные работы	Когда вводится	Размеры
ЗАПРЕТНАЯ ЗОНА		
При ручной зарядке	Перед началом зарядания с момента доставки ВМ к местам производства работ	По проекту, но не менее 20 м от ближайшего заряда (распространяется как на рабочую площадку того уступа, на котором проводится зарядание, так и на ниже- и вышерасположенные уступы, считая по горизонтали от ближайших зарядов)
При механизированном зарядании		По проекту, но не ближе 50 м от зарядного оборудования
ОПАСНАЯ ЗОНА		
При взрывании с применением ЭД в боевиках	С начала укладки боевиков	Определяется расчетом в проекте или паспорте буровзрывных (взрывных) работ
При взрывании с применением ДШ	До начала установки в сеть пиротехнических реле (замедлителей)	
При использовании в боевиках НСИ с низкоэнергетическими волноводами	С момента подсоединения взрывной сети участков к магистральной	
При взрывании с использованием электронных систем иницирования		

В запретную зону разрешается проход специалистов организации и работников контролирующих органов только в сопровождении руководителя взрывных работ.

Безопасные расстояния для людей при производстве работ устанавливаются проектом или паспортом в целях исключения

несчастных случаев. За безопасное расстояние принимают наибольшее из установленных по различным поражающим факторам (разлет кусков горной породы, ударно-воздушная волна, сейсмическое действие).

Расчетное значение опасного расстояния округляется в большую сторону до значения, кратного 50 м. Окончательно принимаемое при этом безопасное расстояние не должно быть меньше минимальных расстояний (табл. 4).

Таблица 4

Безопасные расстояния для людей при взрывании на открытых работах

Методы взрывных работ	Минимально допустимые радиусы опасных зон, м
Наружные заряды, в том числе кумулятивные	300 По проекту
Шпуровые заряды	200*
Котловые шпуры	200*
Малокамерные заряды (рукава)	200*
Скважинные заряды	Не менее 200**
Котловые скважины	Не менее 300
Камерные заряды	Не менее 300
* - При взрывании на косогорах в направлении вниз по склону величина радиуса опасной зоны должна приниматься не менее 300 м;	
** - Радиус опасной зоны указан для взрывания зарядов с забойкой.	

При производстве взрывных работ для оповещения людей обязательна подача сигналов (табл. 5). **Запрещается** подача сигналов голосом, а также с применением ВМ.

Сигналы при производстве взрывных работ

Порядок	Значение	Тип сигнала	Условия подачи
Первый сигнал	Предупредительный	Один продолжительный	Подается при вводе опасной зоны
Второй сигнал	Боевой	Два продолжительных	По сигналу проводится взрыв
Третий сигнал	Отбой	Три коротких	Окончание взрывных работ
Светлое время суток		Звуковой сигнал	
Темное время суток		Звуковой и световой сигналы	

Отказ – отсутствие детонации заряда, его части или группы зарядов после посылки во взрывную сеть инициирующего импульса. Во всех случаях, когда заряды не могут быть взорваны по причинам технического характера (например, неустраняемые в течение смены нарушения взрывной сети), они рассматриваются как отказы.

Отказы регистрируются в Журнал регистрации отказов при взрывных работах.

Для своевременного обнаружения отказавших зарядов и предупреждения их несанкционированных взрывов все места взрывных работ после проведения взрывов должны тщательно осматриваться.

При обнаружении отказа на земной поверхности взрывник должен выставить отличительный знак у невзорвавшегося заряда и уведомить руководителя взрывных работ.

Работы, связанные с ликвидацией отказов должны проводиться под руководством лица, специально назначенного приказом по организации (руководителя взрывных работ) в соответствии с инструкцией, утвержденной распорядительным документом организации, ведущей взрывные работы. В местах отказов запрещаются какие-либо работы, не связанные с ликвидацией отказов.

При ликвидации отказов запрещается выдергивать или тянуть ОШ или ДШ, а также провода ЭД или волноводы НСИ, введенные в боевики.

Контрольные вопросы

1. Классификация складов по месту расположения.
2. Классификация складов по сроку эксплуатации.
3. Классификация складов по назначению.
4. Кем должна быть выписана наряд-накладная для отпуска взрывчатых материалов с одного места хранения на другое?
5. Кто должен вести книгу учета прихода и расхода взрывчатых материалов?
6. Каким образом осуществляется передача взрывчатых материалов с одного склада на другой принадлежащий одному и тому же предприятию?
7. С какой периодичностью должна проводиться проверка правильности учета, хранения и наличия взрывчатых материалов на складах лицами, назначенными руководителем предприятия?
8. Каким образом заведующий складом взрывчатых материалов идентифицирует подлинность нарядов-путевок и нарядов-накладных на отпуск взрывчатых материалов?
9. Кто скрепляет прошнурованные книги учета взрывчатых материалов печатью или пломбой?
10. Запретная зона - это...
11. Опасная зона - это...
12. Перечислите сигналы при производстве взрывных работ.

Расчетно-графическое задание на тему: «Расчет термохимических характеристик смеси взрывчатых веществ»

1. Кислородный баланс

По определению, кислородным балансом 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 $C_aH_bN_cO_d$, тогда кислородный баланс можно определить по формуле

$$\text{КБ} = \frac{[d - (2 \cdot a + b/2)] \cdot 16}{12 \cdot a + b + 14 \cdot c + 16 \cdot d} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где a , b , c , d - количество атомов углерода, водорода, азота и кислорода в составе ВВ соответственно.

Для смесевых многокомпонентных ВВ, содержащих также алюминиевую пудру, обычно используется такая последовательность расчета (для смесевых многокомпонентных ВВ реакции взрывчатого превращения, необходимые для расчета термодинамических характеристик составляются для 1 кг ВВ.):

➤ вычисляется количество каждого из элементов, содержащихся в 1 кг смеси (в грамм-атомах);

$$n = \frac{m}{M}, \quad (2)$$

где n - количество вещества, моль; m - масса ВВ, г; M - молекулярная масса, г-моль.

➤ составляется условная (брутто) формула вида $C_aH_bN_cO_dAl_e$;

➤ рассчитывается КБ по формуле:

$$КБ = \frac{[d - (2 \cdot a + b/2 + 3/2 \cdot e)] \cdot 16}{1000} \cdot 100\% \quad (3)$$

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

$$\alpha_{\text{к}} = \frac{d}{2a + b/2} \quad (4)$$

Сбалансированность химического состава ВВ по кислороду отвечает значениям $КБ = 0\%$ и $\alpha_{\text{к}} = 1$.

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

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

$$d \geq 2 \cdot a + b/2, \text{ откуда } КБ \geq 0. \quad (5)$$

В этом случае в составе продуктов взрыва ПВ в основном содержатся газообразные CO_2 , H_2O , N_2 и частично продукты диссоциации углекислого газа и воды (водяных паров). При значительном избытке кислорода возможно образование окислов азота NO , NO_2 и др.

2. Вторая группа - ВВ с отрицательным КБ, но с количеством кислорода, достаточным для полного газообразования:

$$a + b/2 \leq d < 2 \cdot a + b/2 \quad (6)$$

Как правило, в этом случае образуются следующие ПВ: CO_2 , CO , H_2O , H_2 , N_2 .

3. Третья группа - ВВ с существенно отрицательным КБ, при котором в составе ПВ может присутствовать чистый углерод (С) в виде сажи:

$$d < a + b/2 \quad (7)$$

В таком случае ПВ состоят, в основном, из CO , C , H_2O , H_2 , N_2 .

Если в состав ВВ входит алюминиевая пудра, то в левую и/или правую часть неравенства добавляется $\frac{3}{2}e$.

Пример 1.1. Определить КБ и α_k для тротила (ТНТ) $C_7H_5(NO_2)_3$.

Приводя химическую формулу к условной (брутто-формуле) – $C_7H_5N_3O_6$, определим кислородный баланс и кислородный коэффициент ВВ

$$КБ = \frac{[6 - (2 \cdot 7 + 5/2)] \cdot 16}{12 \cdot 7 + 1 \cdot 5 + 14 \cdot 3 + 16 \cdot 6} \cdot 100\% = -74\%,$$

$$\alpha_k = \frac{6}{2 \cdot 7 + 5/2} = 0,364.$$

Пример 1.2. Определить КБ и α_k для аммиачной селитры (АС) NH_4NO_3 .

$$КБ = \frac{[6 - (2 \cdot 0 + 4/2)] \cdot 16}{12 \cdot 0 + 1 \cdot 4 + 14 \cdot 2 + 16 \cdot 3} \cdot 100\% = 20\%,$$

$$\alpha_k = \frac{3}{2 \cdot 0 + 4/2} = 1,5.$$

Пример 1.3. Определить КБ и α_k для смешанного ВВ, состоящего из 80% АС, 15% ТНТ и 5% алюминиевой пудры.

Рассчитаем элементарный состав (брутто-формулу) 1 кг ВВ.

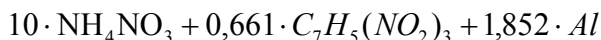
В 1 кг ВВ, согласно процентному содержанию, содержится 800 г АС, 150 г ТНТ, 50 г Аl. Определим количество молей каждого компонента ВВ.

$$n_{АС} = \frac{800}{80} = 10 \text{ моль};$$

$$n_{AC} = \frac{150}{227} = 0,661 \text{ моль};$$

$$n_{AC} = \frac{50}{27} = 1,852 \text{ моль};$$

Записываем компонентный состав в следующем виде:



откуда суммарное количество грамм-атомов элементов в условной формуле:

$$\sum C = 0,661 \cdot 7 = 4,634;$$

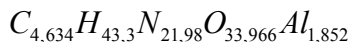
$$\sum H = 10 \cdot 4 + 0,661 \cdot 5 = 43,3;$$

$$\sum N = 10 \cdot 2 + 0,661 \cdot 3 = 21,98;$$

$$\sum O = 10 \cdot 3 + 0,661 \cdot 6 = 33,966;$$

$$\sum Al = 1,852.$$

Условная формула для ВВ имеет вид:



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

$$M = 4,634 \cdot 12 + 43,3 \cdot 1 + 21,98 \cdot 14 + 33,966 \cdot 16 + 1,852 \cdot 27 \approx 1000 \text{ г.}$$

Кислородный баланс ВВ равен:

$$\text{КБ} = \frac{[33,96 - (2 \cdot 4,634 + 43,3 / 2 + 3/2 \cdot 1,852)] \cdot 16}{1000} \cdot 100\% = 0,6\%.$$

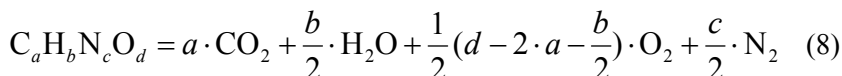
Кислородный коэффициент равен:

$$\alpha_k = \frac{33,96}{2 \cdot 4,634 + 43,3/2 + 3/2 \cdot 1,852} = 1,009.$$

2. Составление реакций взрывчатого превращения ВВ

Для ВВ первой группы с $КБ \geq 0$ реакции взрывчатого превращения составляются исходя из образования высших окислов всех горючих элементов, содержащихся в ВВ, а именно CO_2 , H_2O , Al_2O_3 (принцип Берглю – максимального энерговыделения). Избыток кислорода выделяется в виде собственно O_2 .

Составление реакции взрывчатого превращения для таких ВВ имеет следующий вид:



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

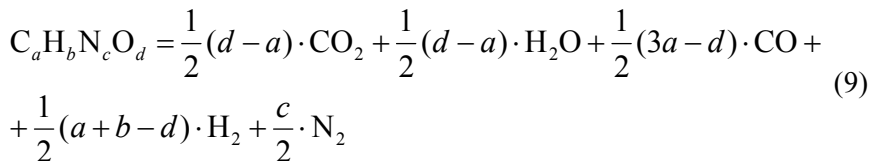
Расчет состава продуктов взрыва по данному принципу для ВВ, не содержащих алюминия, предусматривает последовательность:

- в момент взрыва весь углерод окисляется до окиси углерода (CO);

- оставшаяся часть кислорода равными долями расходуется на окисление водорода (H) до воды (H_2O) и окиси углерода до двуокиси ($CO \rightarrow CO_2$);

- при недостатке кислорода выделяются свободные элементы (H_2 , C).

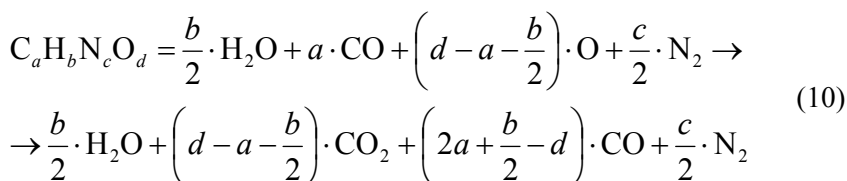
Схема написания реакции взрывчатого превращения по этой методике имеет следующий вид:



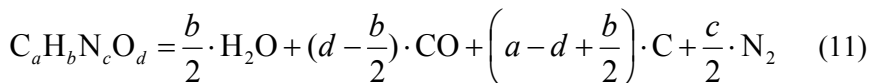
Для ВВ 3 группы используется методика расчета состава продуктов взрыва по Бринкли-Вильсону. При составлении правой части реакции взрывчатого превращения по этому методу распределение кислорода происходит в две стадии. В составах, не содержащих алюминиевую пудру, кислород сначала окисляет весь водород в H_2O и углерод в CO , а оставшаяся часть кислорода используется на доокисление CO в CO_2 .

Данный метод используется для ВВ 3-й группы, однако формула 10 может применяться и для ВВ 2-й группы.

Для условий полного газообразования:



Для условий неполного газообразования:

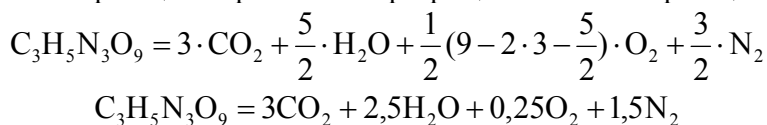


Для алюмосодержащих смесевых ВВ сначала алюминий окисляется в Al_2O_3 , а водород - в воду (H_2O), углерод C - в CO . Оставшийся кислород идет на доокисление CO в CO_2 .

Для практических расчетов термодинамических характеристик многокомпонентных ВВ реакции взрывчатого превращения составляются по вышеперечисленным методикам для 1 кг ВВ. 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.

Пример 2.1. Составить реакцию взрывчатого превращения для нитроглицерина $C_3H_5(ONO_2)_3$.

Т.к. нитроглицерин относится к 1 группе, то необходимо составлять реакцию взрывчатого превращения согласно реакции (8)



Пример 2.2. Составить реакцию взрывчатого превращения для гексогена $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_6\text{O}_6$.

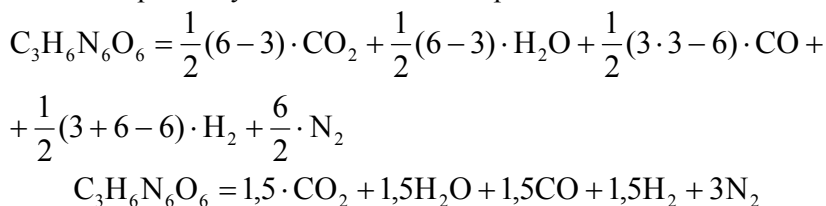
Гексоген имеет отрицательный КБ, следовательно необходимо определить ко 2 или 3 группе относится ВВ по формулам 6 и 7.

$$3 + 6/2 \leq 6 < 2 \cdot 3 + 6/2$$

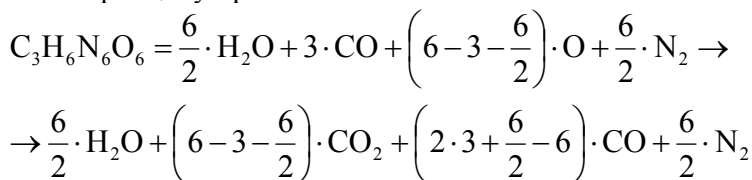
$$6 \leq 6 < 9$$

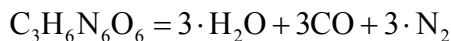
Данное неравенство выполняется, следовательно для написания реакции взрывчатого превращения необходимо воспользоваться формулами 9 или 10.

По принципу Ле Шаталье-Малляра:



По принципу Бринкли-Вильсона:





Пример 2.3. Составить реакцию взрывчатого превращения для смесового ВВ, состоящего из 90% ТНТ и 10% алюминиевой пудры.

Условная формула для ВВ имеет вид:



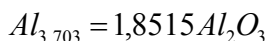
Данное ВВ относится к 3 группе.

$$23,79 < 27,755 + 19,825 / 2 + 3 / 2 \cdot 3,703$$

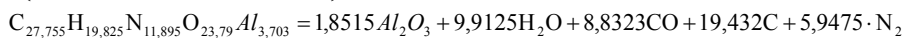
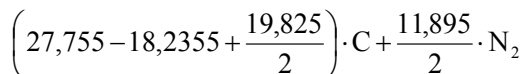
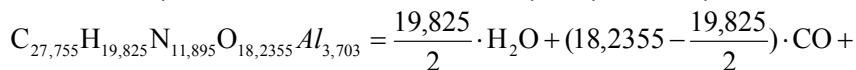
$$23,79 < 43,222$$

Данное неравенство выполняется, следовательно для написания реакции взрывчатого превращения необходимо воспользоваться формулой 11.

Т.к. в составе смеси есть аллюминевая пудра, то в первую очередь окисляем его:



Т.к. часть кислорода ($1,8515 \cdot 3 = 5,5545$) уже расходовалась на окисление Al , то значение O составляет $23,79 - 5,5545 = 18,2355$.



3. Расчет теплового эффекта реакции взрывчатого превращения ВВ

В основе расчета теплового эффекта 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.

На рис. 1 приведено схематическое изображение состояния системы - треугольник Гесса.

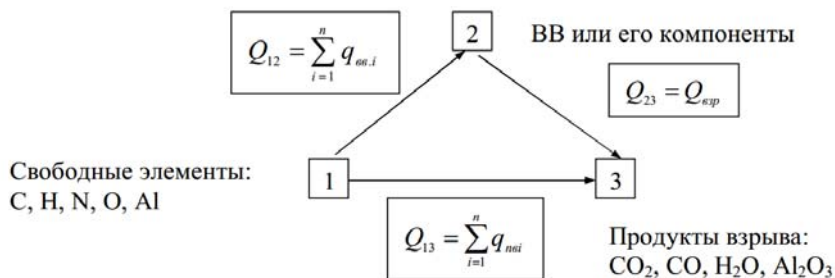


Рис. 1. Треугольник Гесса

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

$$Q_{23} = Q_{13} - Q_{12}, \quad (12)$$

$Q_{23} = Q_{\text{взр}}$ - теплота взрыва ВВ, кДж/моль

$Q_{13} = \sum_{i=1}^n q_{\text{ПВ}i}$ - суммарная теплота образования продуктов взрыва с учетом их грамм-молей, кДж/моль

взрыва с учетом их грамм-молей, кДж/моль

$Q_{12} = \sum_{i=1}^n q_{\text{ВВ}i}$ - суммарная теплота образования компонентов ВВ с учетом их грамм-молей, кДж/моль.

ВВ с учетом их грамм-молей, кДж/моль.

Теплотой образования простых элементов (С, Н₂, О, 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:

$$Q_{взр} = \frac{Q_{23}}{M} \cdot 1000 \quad (13)$$

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

Таблица 6

Теплоты образования продуктов взрыва

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Теплота образования, кДж/моль
1.	Оксид углерода	CO	113,7
2.	Двуокись углерода	CO ₂	395,6
3.	Вода (пар)	H ₂ O	240,6
4.	Оксид алюминия	Al ₂ O ₃	1666,4
5.	Оксид азота	NO	-90,37
6.	Двуокись азота	NO ₂	-33,89

Таблица 7

Теплоты образования индивидуальных ВВ и компонент смесевых ВВ

№ п/п	Вещество	Химическая формула	Теплота образования, кДж/моль
1.	Аммиачная селитра (АС)	NH ₄ NO ₃	354,8
2.	Дизельное топливо (ДТ)	C ₁₃ H ₂₀	158,8
3.	Минеральное масло	C ₁₂ H ₂₆	341,9
4.	Карбамид	CH ₄ N ₂ O	333,6
5.	Древесная мука	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₀	2002
6.	Тротил (ТНТ)	C ₇ H ₅ (NO ₂) ₃	56,6
7.	Нитроглицерин	C ₃ H ₅ (NO ₂) ₃	350,7
8.	Нитроглицерин	C ₂ H ₄ (NO ₂) ₂	229,6
9.	Гексоген	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆	-93,3
10.	ТЭН	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₂	402,3
11.	Динитронафталин	C ₁₀ H ₆ (NO ₂) ₂	-29,8
12.	Октоген	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈	-109,4
13.	Тетрил	C ₇ H ₅ N ₅ O ₈	-41,9

Пример 3.1. Рассчитать теплоту взрыва нитроглицерина C₃H₅(ONO₂)₃, реакция взрывчатого превращения которого имеет вид C₃H₅N₃O₉ = 3CO₂ + 2,5H₂O + 0,25O₂ + 1,5N₂.

Согласно закону Гесса теплоты взрыва определяется по формуле 12:

$$Q_{23} = Q_{13} - Q_{12},$$

В таблице 2 находим теплоту образования нитроглицерина, равную $Q_{12} = 350,7$ кДж/моль.

Определяем суммарную теплоту образования ПВ для парообразного состояния воды в ПВ:

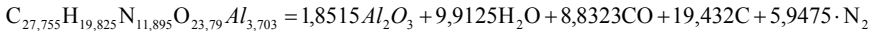
$$Q_{13} = \sum_{i=1}^n q_{ПВi} = 3 \cdot q_1 + 2,5 \cdot q_2 = 3 \cdot 395,6 + 2,5 \cdot 240,6 = 1788,3 \text{ кДж/моль.}$$

Здесь q_1, q_2 - теплоты образования $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ в парообразном состоянии, кДж/моль (таблица 1).;

$$Q_{23} = 1788,3 - 350,7 = 1427,6 \text{ кДж/моль.}$$

$$Q_{\text{взр}} = \frac{Q_{23}}{M} \cdot 1000 = \frac{1427,6}{227} \cdot 1000 = 6289 \text{ кДж/кг.}$$

Пример 3.2. Рассчитать теплоту взрыва смесового ВВ, состоящего из 90% ТНТ и 10% алюминиевой пудры, реакция взрывчатого превращения которого имеет вид



Согласно закону Гесса теплоты взрыва определяется по формуле 12:

$$Q_{23} = Q_{13} - Q_{12},$$

$$Q_{13} = \sum_{i=1}^n q_{ПВi} = 1,8515 \cdot q_1 + 9,9125 \cdot q_2 + 8,8323 \cdot q_3 = 1,8515 \cdot 1666,4 + 9,9125 \cdot 240,6 + 8,8323 \cdot 113,7 = 6475 \text{ кДж/кг.}$$

$$Q_{12} = \sum_{i=1}^n q_{ВВi} = \frac{900}{227} \cdot q_{\text{ТНТ}} = 224 \text{ кДж/кг.}$$

$$Q_{23} = Q_{взр} = 6475 - 224 = 6251 \text{ кДж/кг.}$$

4. Расчет температуры газообразных продуктов взрыва

Температура газообразных ПВ рассчитывается по формуле:

$$T_{взр} = \frac{-\sum n_i a_i + \sqrt{(\sum n_i a_i)^2 + 4 \sum n_i b_i \cdot Q_{взр} \cdot 10^3}}{2 \sum n_i b_i}, \quad (10)$$

где $T_{взр}$ - температура продуктов взрыва, °С;

n_i - число молей одноименных газов;

$Q_{взр}$ - теплота взрыва, кДж/моль;

$a_i b_i$ - эмпирические коэффициенты i -го компонента ПВ.

В таблице 1 приведены значения эмпирических коэффициентов a и b , предложенные Г. Кастом.

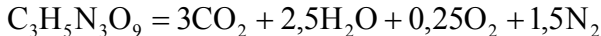
Таблица 8

Значения эмпирических коэффициентов a и b

Тип газа	a , Дж/моль·°С	b , Дж/моль·°С
Двухатомные (CO, H ₂ , O ₂ , N ₂ , NO)	20,1	18,86·10 ⁻⁴
Трехатомные (CO ₂ , NO ₂)	41,1	24,30·10 ⁻⁴
Четырехатомные	41,9	18,86·10 ⁻⁴
Пятиатомные	50,28	18,86·10 ⁻⁴
Пары воды (H ₂ O)	16,76	90,10·10 ⁻⁴
Твердые компоненты ПВ (C, Al ₂ O ₃)	24,97	0

Пример 4.1. Определить температуру продуктов взрыва ($T_{взр}$) при взрыве нитроглицерина.

Реакция взрывчатого превращения нитроглицерина



$$\sum n_i a_i = 3 \cdot 41,1 + 2,5 \cdot 16,76 + 1,5 \cdot 20,1 + 0,25 \cdot 20,1 = 200,38$$

$$\sum n_i b_i = 10^{-4} \cdot (3 \cdot 24,3 + 2,5 \cdot 90,1 + 1,5 \cdot 18,86 + 0,25 \cdot 18,86) = 331,12 \cdot 10^{-4}$$

$Q_{\text{взр}}$ нитроглицерина составляет 1443,8 кДж/моль.

$$T_{\text{взр}} = \frac{-200,38 + \sqrt{200,38^2 + 4 \cdot 331,12 \cdot 10^{-4} \cdot 1443,8 \cdot 10^3}}{2 \cdot 331,12 \cdot 10^{-4}} = 4237 \text{ }^\circ\text{C}$$

5. Определение объема газообразных ПВ

Объем газообразных ПВ определяется по реализации взрывчатого превращения ВВ на основе закона Авогадро, согласно которому объем, занимаемый одним молем газа при температуре 0°С и давлении $1,01 \cdot 10^5$ Па, равен 22,4 л.

Отсюда получаем выражение для определения объема ПВ ($\text{м}^3/\text{кг}$):

- для индивидуального ВВ

$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (n_1 + n_2 + \dots n_i)}{M_{\text{ВВ}}}, \quad (11)$$

где n_1, n_2, \dots - количество грамм-молекул газообразных ПВ

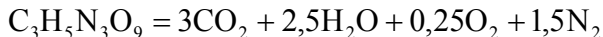
$M_{\text{ВВ}}$ - молекулярная масса ВВ, г·моль

- для многокомпонентного смесового ВВ

$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (n_1 + n_2 + \dots n_i)}{1000} \quad (12)$$

Пример 5.1. Определить объем продуктов взрыва при взрыве нитроглицерина.

Реакция взрывчатого превращения нитроглицерина



$$V_{\text{ПВ}} = \frac{22,4 \cdot (n_1 + n_2 + \dots n_i)}{M_{\text{ВВ}}} = \frac{3 + 2,5 + 0,25 + 1,5}{227} = 0,716 \text{ м}^3/\text{кг}$$

6. 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:

$$P = \frac{P_0 \cdot V_{\text{ПВ}} \cdot T_{\text{взр}}}{273 \cdot (V - \alpha)}, \quad (13)$$

где P_0 - атмосферное давление газов при 0°C , $P_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па;
 $T_{\text{взр}}$ - температура взрыва в градусах по Кельвину, К:

$$T_{\text{взр}} = T(^{\circ}\text{C}) + 273^{\circ};$$

V - объем зарядной камеры (заряда ВВ), м^3 ;

$V_{\text{ПВ}}$ - объем ПВ, м^3 ;

α - поправка, учитывающая собственный объем молекул продуктов взрыва – несжимаемая часть газа или коволюм, м^3 .

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

$$P = \frac{P_0 \cdot V_{\text{ПВ}} \cdot T_{\text{взр}} \cdot \Delta}{273 \cdot (1 - \alpha \cdot \Delta)} \quad (14)$$

Величина α зависит от плотности заряжания. Если плотность заряжания ВВ не высока ($\Delta < 1000$ $\text{кг}/\text{м}^3$) приближенно можно принять $\alpha = 0,001 \cdot V_{\text{ПВ}}$. Для более высоких плотностей ($\Delta > 1000$ $\text{кг}/\text{м}^3$) для расчетов принимают $\alpha = 0,0006 \cdot V_{\text{ПВ}}$. Здесь Δ - плотность заряжания ВВ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Пример 6.1. Определить давление продуктов взрыва нитроглицерина при плотности $\Delta = 1600$ $\text{кг}/\text{м}^3$.

$$T_{\text{взр}} = T(^{\circ}\text{C}) + 273 = 4237 + 273 = 4510^{\circ}\text{C};$$

$$P = \frac{P_0 \cdot V_{\text{ПВ}} \cdot T_{\text{взр}} \cdot \Delta}{273 \cdot (1 - \alpha \cdot \Delta)} = \frac{1,01 \cdot 10^5 \cdot 0,716 \cdot 4510 \cdot 1600}{273 \cdot (1 - 0,0006 \cdot 0,716 \cdot 1600)} =$$

$$= 6,1 \cdot 10^9 \text{ Па.}$$

7. Расчет скорости детонации ВВ

Для приближенной оценки скорости детонации можно воспользоваться выражением:

$$D = D'_{\text{эт}} \sqrt{\frac{Q_{\text{ВВ}}}{Q_{\text{эт}}}}, \quad (15)$$

где D - скорость детонации ВВ, м/с;

$D'_{\text{эт}}$ - скорость детонации эталонного ВВ при соответствующей плотности заряжения, м/с;

$Q_{\text{ВВ}}$ - теплота взрыва ВВ, кДж/кг;

$Q_{\text{эт}}$ - теплота взрыва эталонного ВВ, кДж/кг.

Скорость детонации эталонного ВВ (аммонита 6ЖВ), равная 3600 м/с при плотности заряжения 1 г/см³, пересчитывается с учетом реальной плотности заряда ВВ по формуле:

$$D'_{\text{эт}} = D_{\text{эт}} + 3500 \cdot (\Delta - 1) \quad (16)$$

Здесь Δ - плотность заряжения ВВ, г/см³.

Пример 7.1. Определить скорость детонации игданита при плотности заряжения $\Delta = 0,85$ г/см³. Теплота взрыва составляет 3800 кДж/кг.

$$D'_{\text{эт}} = D_{\text{эт}} + 3600 \cdot (\Delta - 1) = 3600 + 3600(0,85 - 1) = 3060 \text{ м/с.}$$

По формуле (15) рассчитаем скорость детонации игданита

$$D = D'_{\text{ЭТ}} \sqrt{\frac{Q_{\text{ВВ}}}{Q_{\text{ЭТ}}}} = 3060 \sqrt{\frac{3800}{4315}} = 2695 \text{ м/с.}$$

Таблица 9

Варианты заданий к РГЗ

№	АС	ТНТ	Гексоген	Al	Дизельное топливо	Нитроглицерин	Минеральное масло	Угольный порошок	Динитрофосфат	Плотность заряжания
1	88								12	1,15
2	76	8		6		10				1,2
3	79			11		10				1,2
4	94,5				5,5					0,85
5	91,8			4			4,2			0,85
6	90			6			4			0,85
7	89			8			3			0,85
8	94				2			4		0,85
9	92,8						4,2	3		0,85
10	94,5						5,5			0,85
11	93				3,5			3,5		0,85
12	90,3	5,5					4,2			0,9
13	81	18					1			0,9
14	87	10					3			0,9
15	83	15					2			0,9
16	79	20					1			0,9
17	40	45		15						0,95
18	47	50		3						1,0
19	80,5	15		4,5						1,15
20	66	5	24	5						1,5
21	72	5	15	8						1,1
22	82	18								0,9
23	50	50								0,9
24	30	70								0,9
25		85		15						1,0

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература

1. *Кутузов Б.Н.*, Методы ведения взрывных работ. Часть 1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов / М.: Издательство «Горная книга», 2018, 3-е изд., стр., 476 с. <https://e.lanbook.com/reader/book/1518/#1>

2. *Белин, В.А.* Технология и безопасность взрывных работ : учебное пособие / В.А. Белин, М.Г. Горбонос, Р.Л. Коротков. – Москва : МИСИС, 2019. – 74 с. – ISBN 978-5-907061-08-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/116909>

3. *Кутузов, Б.Н.* Методы ведения взрывных работ. – Ч. 2. Взрывные работы в горном деле и промышленности : учебник / Б.Н. Кутузов. – Москва : Горная книга, 2008. – 512 с. – ISBN 978-5-98672-197-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/1518>

4. *Воронков, В.Ф.* Процессы открытых горных работ : учебное пособие / В.Ф. Воронков. – Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2017. – 167 с. – ISBN 978-5-906969-02-6. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/105386>

Дополнительная литература

1. *Катанов И.Б.* Технология и безопасность взрывных работ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева, 112 с., 2012 <https://e.lanbook.com/reader/book/69448/#1>

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Методические указания к изучению дисциплины	4
1. Теория взрыва и взрывчатые вещества	4
2. Средства и способы взрывания зарядов.....	8
3. Методы и технология взрывных работ.....	12
4. Организация и безопасность взрывных работ.....	15
Расчетно-графическое задание на тему: «Расчет термохимических характеристик смеси взрывчатых веществ»	24
1. Кислородный баланс	24
2. Составление реакций взрывчатого превращения ВВ.....	28
3. Расчет теплового эффекта реакции взрывчатого превращения ВВ	31
4. Расчет температуры газообразных продуктов взрыва	35
5. Определение объема газообразных ПВ.....	36
6. Расчет давления газообразных ПВ.....	37
7. Расчет скорости детонации ВВ	38
Рекомендательный библиографический список.....	40