


Технология и безопасность взрывных работ



Взрыв может происходить при химической реакции энергонасыщенных составов; при электрическом разряде; при воздействии светового луча от квантового генератора на некоторые материалы; при ядерных реакциях деления и синтеза. Таким образом взрывы бывают химические, физические и ядерные.

При химическом взрыве происходят чрезвычайно быстрые химические реакции с образованием новых соединений и выделением большого количества тепла (порядка 3400-6000 кДж/кг) и газов (порядка 1000 л/кг).

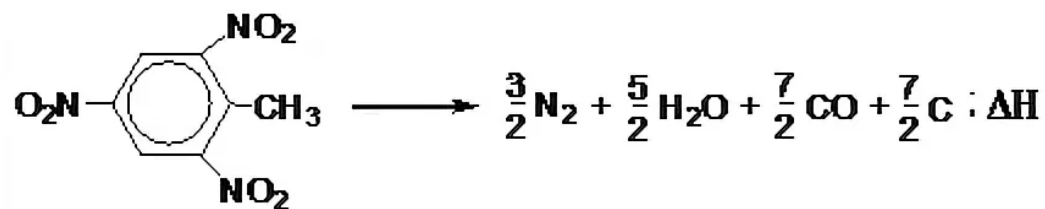
Это взрывы ВВ, горючих газов типа метана, паров топлива, тонкодисперсной органической пыли (угольной, древесной или иной).



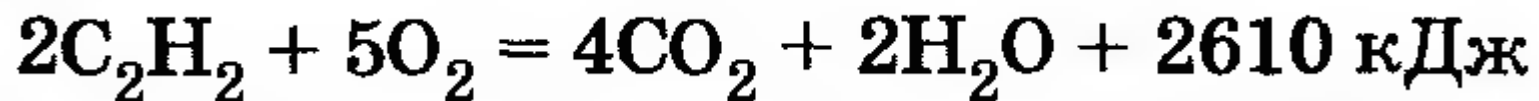
Взрывчатые вещества - это химические соединения или механические смеси определенных химических веществ, представляющие собой высококонцентрированный и экономичный **химический** источник потенциальной энергии, способной выделиться (перейти в кинетическую форму) **без участия в реакции какого-либо другого вещества**.

В отличие от обычных топлив, расходующих при сгорании газообразный кислород воздуха, **ВВ содержат связанный кислород** в своем составе и в основе процесса взрывчатого превращения лежат **экзотермические внутри- и межмолекулярные окислительно-восстановительные реакции**.

- нитроглицерин
 $C_3H_5(ONO_2)_3 \rightarrow 3CO_2 + 2,5H_2O + 1,5N_2 + 0,25O_2 + 1400 \text{ МДж};$
- аммиачная селитра
 $NH_4NO_3 \rightarrow 2H_2O + N_2 + 0,5O_2 + 121 \text{ МДж};$
- нитроглицерин
 $C_2H_4(ONO_2)_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O + N_2 + 990 \text{ МДж};$
- аммонит БЖВ, состоящий из смеси аммиачной селитры и тротила,
 $C_6H_6(NO_2)_3CH_3 + 10,7NH_4MO_3 \rightarrow 7CO_2 + 23,9H_2O + 12,2N_2 + 0,1O_2 + 4520 \text{ МДж};$
- тротил
 $C_6H_6(NO_2)CH_3 \rightarrow 3,5CO + 2,5H_2O + 3,5C + 1,5N_2 + 922 \text{ МДж};$
- азид свинца
 $PbN_6 \rightarrow Pb + 3N_2 + 448 \text{ МДж}.$



Реакция горения ацетилена:



Энергия при взрыве ВВ выделяется за счет химической реакции окисления водорода в воду и углерода в оксид или диоксид углерода кислородом в составе молекул ВВ, а также металлов в их высший окисел. При горении обычных веществ окисление горючих элементов происходит за счет подвода кислорода воздуха. При сжигании 1 л стехиометрической смеси спирт - кислород выделяется всего 14,6 кДж, а при взрыве 1 л мощного жидкого ВВ нитроглицерина выделяется 9800 кДж тепла. Низкая объемная концентрация энергии горения спирта объясняется тем, что для сжигания 1 л требуется около 2000 л кислорода и при теплотворной способности реакции 26190 кДж/кг 1 л смеси выделяет 14,6 кДж теплоты.

Тепловая энергия в 1 кг ВВ составляет порядка 4200 кДж/кг, т.е. значительно меньше теплотворной способности обычных горючих (керосин - 47000 кДж/кг, каменный уголь - 29300 кДж/кг). Но у ВВ скорость распространения реакции достигает 6 - 8 км/с, обеспечивая получение чрезвычайно большой мощности (энергии, выделяемой в единицу времени). Так, при взрыве патрона аммонита 6ЖВ массой 200 г с удельной энергией 4190 кДж/кг выделяется 838 кДж энергии.

При скорости детонации 3,5 км/с время взрыва составляет $5,7 \cdot 10^{-5}$ с, а выделяемая в момент взрыва мощность равна $15 \cdot 10^8$ Дж/с или 15 млн. Вт.

Рабочим телом, совершающим механическую работу, являются газообразные продукты взрыва, первоначально сжатые до давления порядка 10^6 - 10^{10} Па и имеющие температуру 1900 - 4500 оС. Расширяясь, сжатые газы уплотняют окружающую среду и вызывают в ней образование волн сжатия с резким перепадом на фронте волны.

Признаки взрыва. Отличительными признаками взрыва являются:

- **сверхзвуковая скорость** распространения химической реакции по заряду ВВ;
- **экзотермичность реакции**, т.е. реакция идет с большим выделением тепла;
- **большая мощность**;
- **высокое давление газообразных продуктов** в зоне взрыва, которые генерируют в окружающей среде **мощные ударные и упругие волны**.

Формы превращения взрывчатых веществ

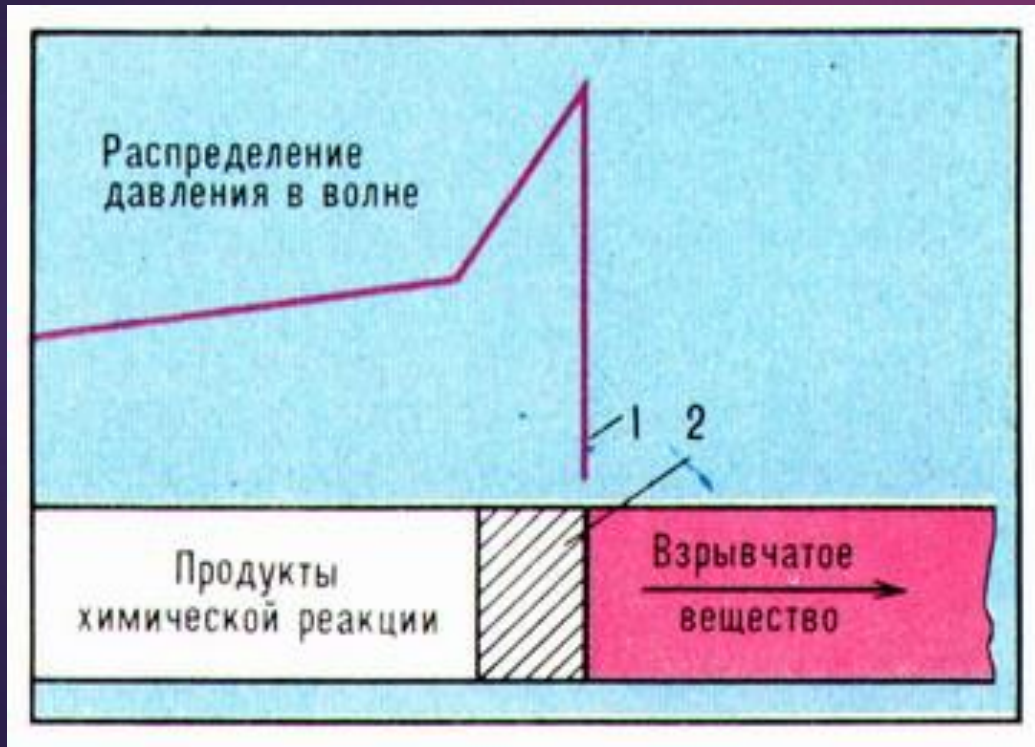
Термическое разложение - сравнительно медленный распад вещества при нагреве ниже температуры вспышки. При достижении критических условий нагрева процесс термического разложения ускоряется и может закончиться тепловым взрывом (вспышкой, самовоспламенением). Условие теплового взрыва: преобладание прихода тепла от экзотермической реакции распада ВВ над отводом тепла в окружающую среду. Этот процесс происходит при неблагоприятных условиях хранения ВВ и недостаточной химической стойкости.

Горение - это самораспространяющийся процесс экзотермического химического превращения вещества в сравнительно узкой зоне - пламени. При горении энергия передается путем теплопередачи - пламя перемещается по веществу в результате прогрева впереди лежащих слоев, скорость горения может быть от долей сантиметра до десятков метров в секунду. Особенно легко этот переход происходит в инициирующих ВВ (ИВВ), которые из-за особенностей их химического строения вообще не способны к стационарному медленному горению. Пороха (метательные ВВ) имеют стационарное горение, за счет этого и используются в компонентах ракетного топлива.

Детонация - это процесс перемещения по ВВ с постоянной сверхзвуковой скоростью (порядка тысяч м/с) узкой зоны химической реакции с крутым скачком давления на фронте.

ДЕТОНАЦИЯ взрывчатых веществ (франц. detoner — взрываться, от лат. detono — гремлю * а. detonation of explosives; н. Detonation von Sprengstoffen; ф. detonation des explosifs; и. detonacion de explosivos) — процесс химического превращения взрывчатых веществ, сопровождающийся освобождением энергии и распространяющийся по веществу в виде волны со скоростью, превышающей скорость звука в данном веществе.

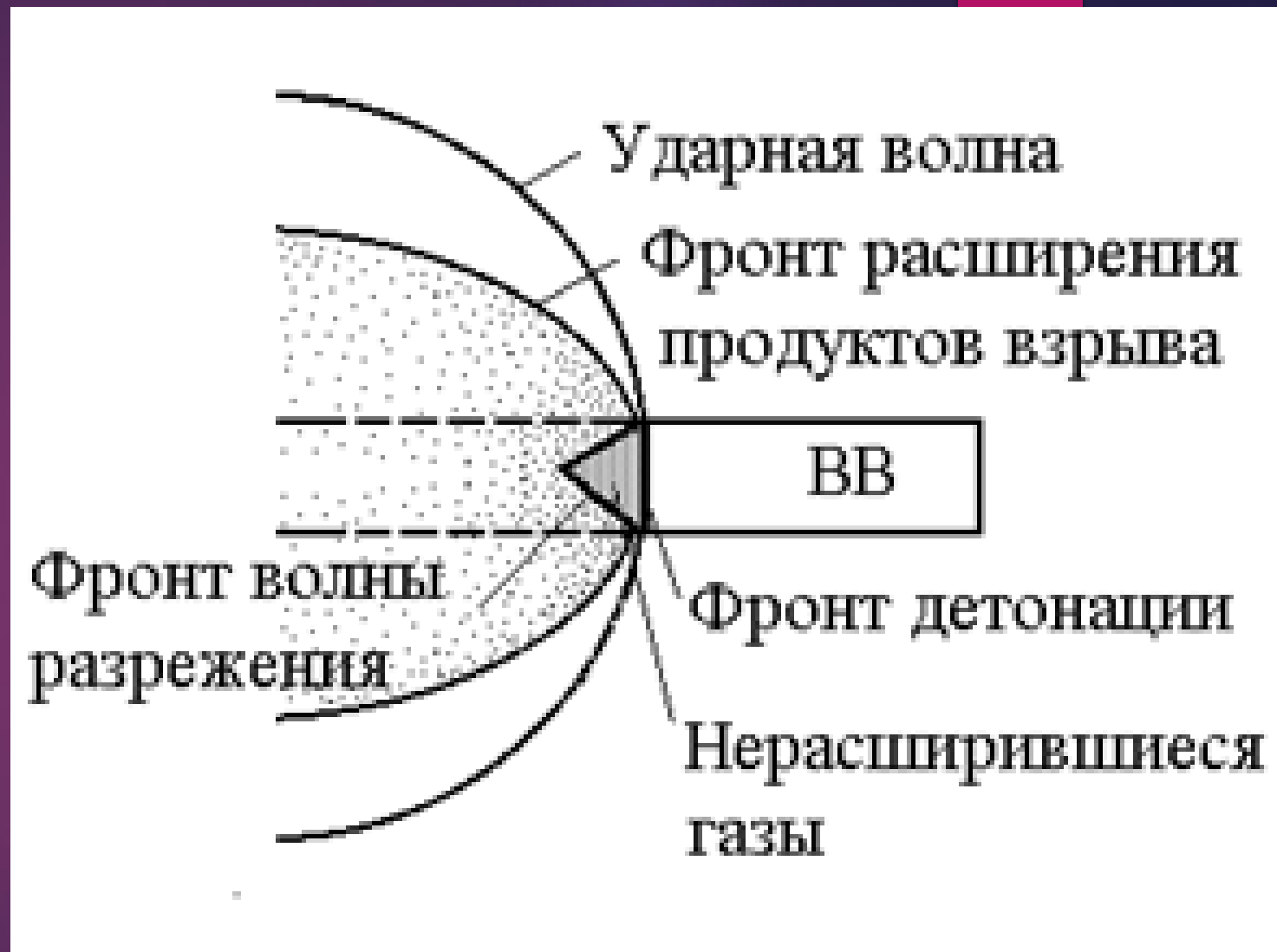
Химическая реакция вводится интенсивной ударной волной, образующей передний фронт волны детонации. Резкое повышение давления и температуры за фронтом ударной волны приводит к очень быстрому химическому превращению вещества в тонком слое, непосредственно прилегающем к фронту волны



Энергия, освобождающаяся в зоне химической реакции, непрерывно поддерживает высокое давление в ударной волне. Возбуждение детонации является обычным способом осуществления взрыва. Волна детонации возбуждается интенсивным механическим или тепловым воздействием (удар, искровой разряд, взрыв металлической проволоочки под действием электрического тока и т.п.). Сила воздействия, необходимая для возбуждения детонации, зависит от химической природы взрывчатых веществ. К механическому и тепловому воздействию особенно чувствительны инициирующие взрывчатые вещества, которые входят в состав капсюлей-детонаторов.

Основы теории детонации ВВ

Фронт детонации представляет собой сильную ударную волну, которая разрушает молекулы ВВ. Освободившись от первоначальных связей, нагретые до высокой температуры атомы горючих элементов и кислорода вступают в зоне за фронтом волны в бурную химическую реакцию с выделением тепла и превращением ВВ в газообразное состояние. Фронт детонационной волны движется со скоростью несколько километров в секунду. За фронтом ударной волны движется фронт расширения продуктов взрыва, а к центру (оси) заряда – фронт волны разрежения. Условия стабильности процесса детонации обеспечиваются наличием зоны не расширившихся газов.



Факторы, влияющие на скорость и устойчивость детонации зарядов ВВ.

Скорость детонации заряда зависит от характеристик самого ВВ (тип ВВ, его дисперсность, плотность ВВ в заряде), диаметра заряда и условий взрывания (наружный или внутренний заряд в шпуре или скважине, наличие забойки). Во всех случаях задача сводится к оценке устойчивости и скорости детонации, в сравнении с максимально достижимой или оценке величины критического диаметра заряда.

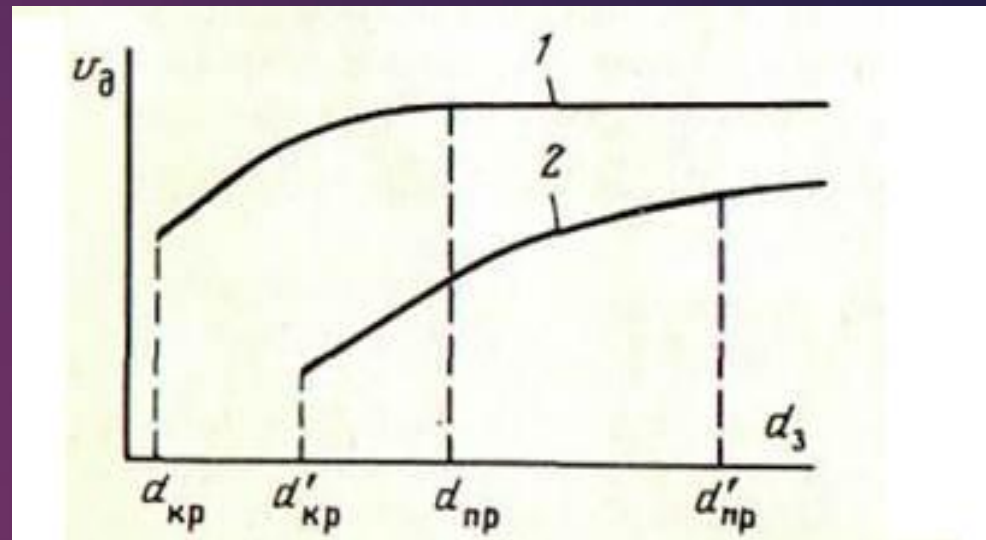
По скорости детонации ВВ делятся на высокобризантные ($D > 4,5$ км/с), бризантные ($D = 3,5 - 4,5$ км/с), низкобризантные ($D = 2,5 - 3,5$ км/с) и метательные ($D < 2,5$ км/с).

Скорость детонации не зависит от мощности инициатора, если он достаточен для возбуждения реакции. Мощность инициатора лишь определяет длину участка, на котором достигается скорость детонации, характерная для конкретного ВВ. Чем выше скорость детонации, тем сильнее разрушительное действие взрыва. Для детонации с малой скоростью характерно метательное действие и более крупное дробление.

Диаметр и оболочка заряда - для каждого ВВ можно найти два характерных диаметра заряда: **критический диаметр**, при дальнейшем уменьшении которого детонация заряда ВВ становится неустойчивой; с увеличением диаметра заряда больше критического скорость детонации увеличивается до определенного значения диаметра, называемого **предельным**, при дальнейшем увеличении которого скорость детонации заряда не увеличивается.

Влияние диаметра заряда на скорость детонации объяснил Ю.Б. Харитон. Зона реакции имеет конечные размеры. В момент завершения реакции образующиеся ПВ стремятся к расширению в радиальном направлении. В результате в зону реакции входит волна разрежения и охватывает некоторую часть реагирующего вещества. Как поставщик энергии в ударную волну волна разрежения теряется, и детонация затухает. Глубина протекания волны разрежения обратно пропорциональна радиусу заряда, поэтому относительные потери ВВ уменьшаются с увеличением радиуса заряда.

Характер протекания этого процесса зависит от соотношения ширины зоны химической реакции и диаметра заряда, поскольку критический диаметр приблизительно равен ширине зоны химической реакции в заряде.



Зависимость скорости детонации v_d зарядов ВВ от их диаметра $d_з$:
1 и 2 — для ВВ соответственно с большой и малой теплотой взрыва

Оболочка, затрудняющая разлет продуктов взрыва, уменьшает критический диаметр заряда. Так, порошкообразная АС при взрыве в стеклянной трубке имеет $D_{кр} = 100$ мм, а в стальной (с толщиной стенок в 20 мм) - 7 мм.

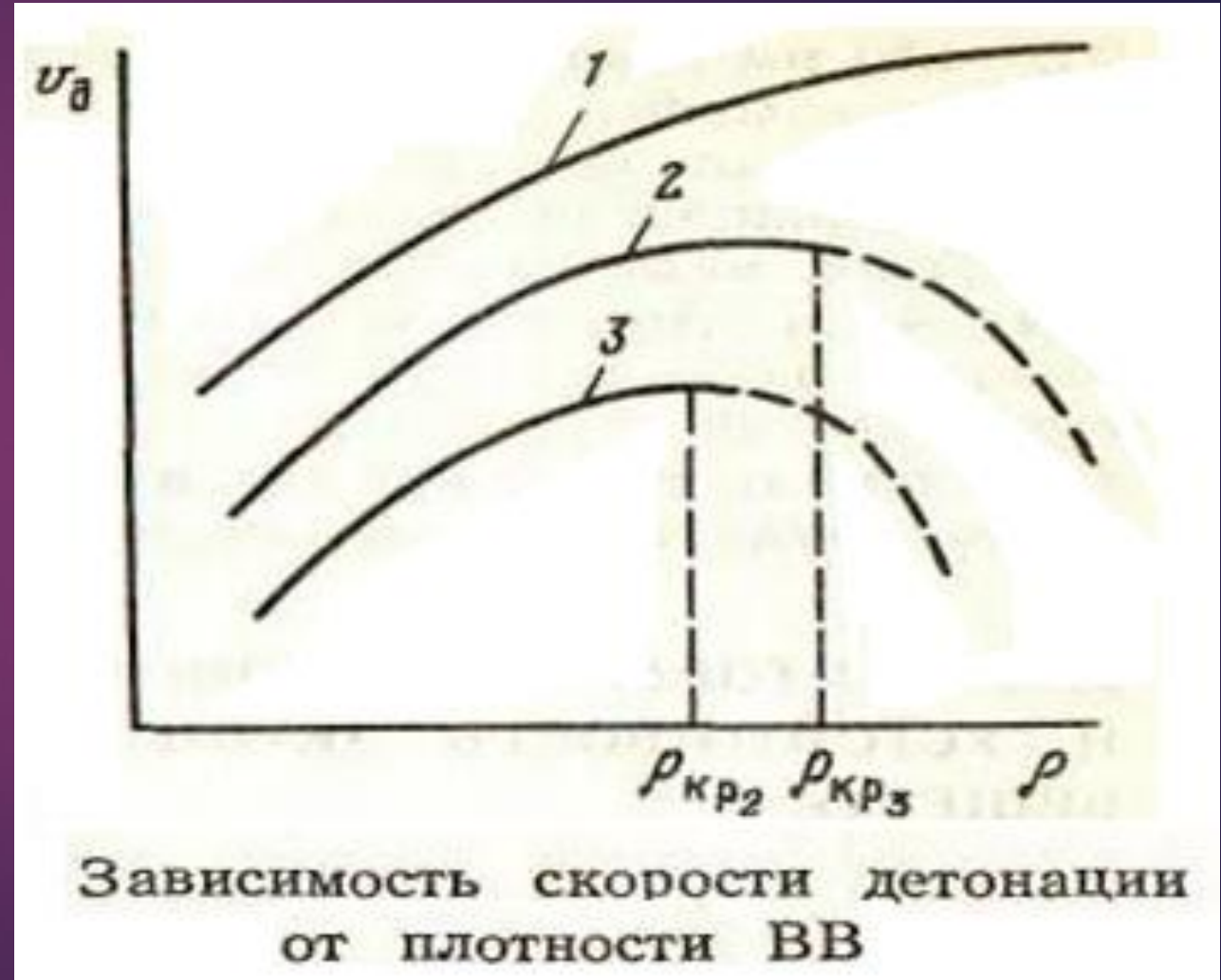
Оболочка не оказывает заметного влияния на скорость детонации зарядов в однокомпонентных зарядах (индивидуальных ВВ) большой плотности, и, наоборот, сильно сказывается на скорости детонации зарядов средней плотности, а также смесевых ВВ. На скорость детонации влияют главным образом инертные свойства оболочки и ее сжимаемость. При малых плотностях зарядки оказывает влияние на устойчивость детонации и прочность оболочки. Оболочка позволяет снизить величину критического диаметра и достигнуть устойчивой детонации при меньших диаметрах. При больших диаметрах (близких к предельным) скорости детонации открытых зарядов и зарядов в оболочках становятся примерно одинаковыми.

Поэтому при применении ВВ в зарядах небольшого диаметра необходимо обеспечить тщательное заполнение полости шпура, чтобы последний выполнял роль оболочки, а также качественную забойку заряда. При взрывах зарядов большего диаметра эти факторы меньше влияют на устойчивость детонации.



Плотность - это отношение массы вещества к занимаемому им объему. Для индивидуальных ВВ скорость детонации увеличивается с увеличением плотности до максимальных значений. Смесевые ВВ имеют критическую плотность 1,4-1,6 г/см³, при которой скорость детонации максимальна. При дальнейшем увеличении плотности детонация в заряде прекращается.

Это происходит за счет того, что при изменении плотности ВВ химическое превращение компонентов ВВ и химическое взаимодействие продуктов взрыва изменяются, за счет чего ухудшаются условия протекания химических реакций. Так при сильном уплотнении аммиачная селитра в аммонитах ведет себя как инертное вещество и, поглощая энергию, делает невозможным распространение детонации по заряду. При наличии большого процента мощного компонента в составе ВВ (тротил, гексоген) можно достичь такого уплотнения, что детонация будет распространяться только по этому компоненту, за счет чего произойдет увеличение ее скорости. При большом диаметре заряда или размещении его в оболочке критическая плотность увеличивается.



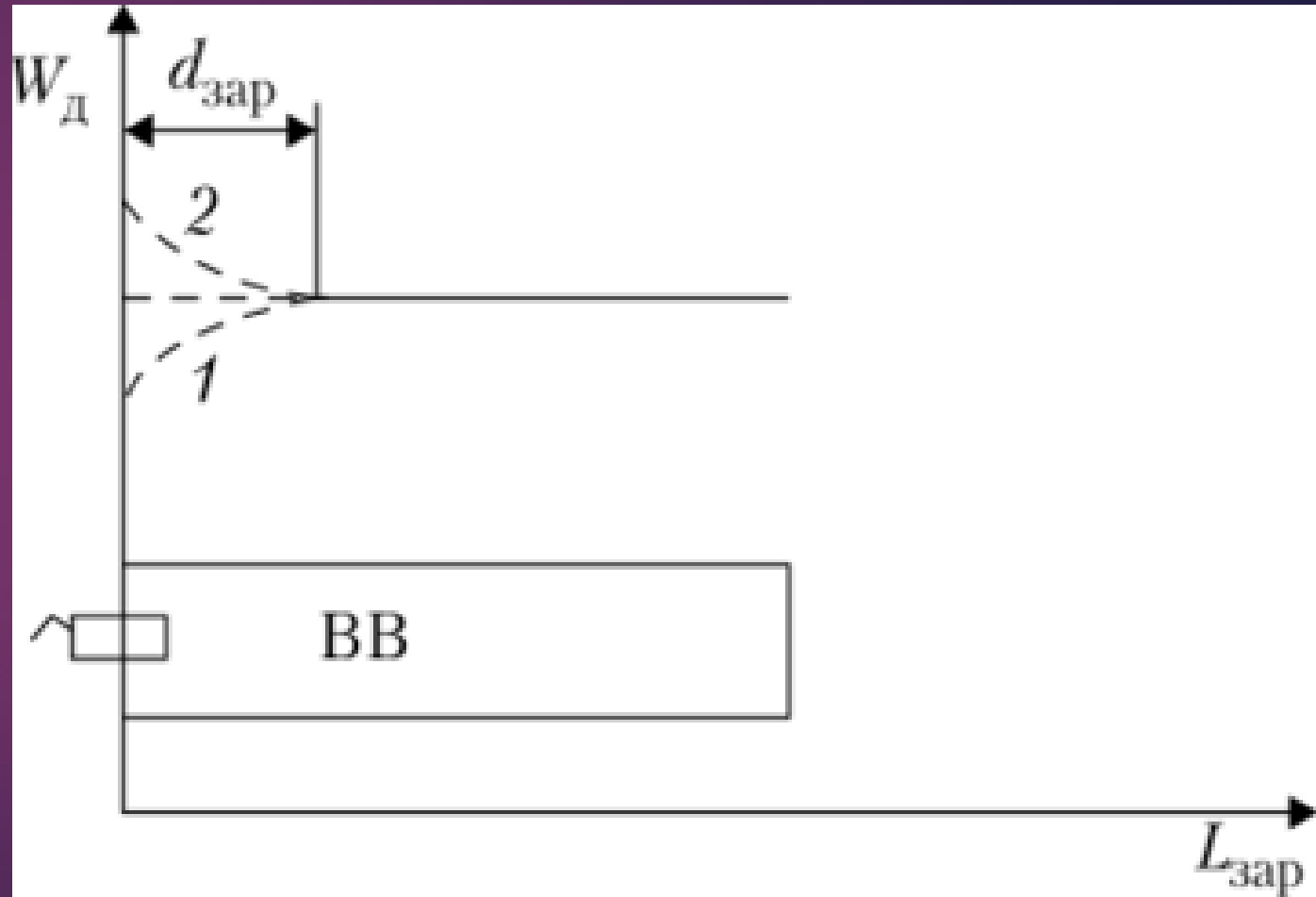
Дисперсность характеризует размер частиц ВВ и зависит от условий производства. Она влияет на величину критического диаметра. Например: $D_{кр} = 9$ мм у тротила при дисперсности 0,01 мм, $D_{кр} = 28$ мм при дисперсности 0,5 мм - с уменьшением размера частиц растет чувствительность.

Тип и состав ВВ. С увеличением теплоты взрыва скорость детонации ВВ увеличивается, а критический диаметр уменьшается. Так, теплота взрыва тротила 3450 Дж/кг, скорость детонации 7,0 км/с, критический диаметр 10 мм, а для гексогена эти величины соответственно равны: 5700 Дж/кг, 8,4 км/с и 1,5 мм. Критический диаметр для смесевых ВВ зависит и от процентного соотношения компонентов. Так, при уменьшении содержания тротила в аммонитах с 21 до 5 % их критический диаметр увеличивается с 12 до 25 мм.

Наименование В В	теплота взрыва, кДж/кг	критический диаметр, мм	скорость детонации, км/с
Азид свинца	1590	0,01-0,02	5,3
Гексоген	5450	1,0-1,5	8,4
Тротил (гранулированный)	3450	5-10	5,5-6,5
Аммонит БЖВ	4300	12-14	3,6-4,8
Аммонит скальный № 1	5400	5-6	6,0-6,5
Аммонит скальный № 3	4950	8-10	4,0-4,5
Гранулит АС-8	70-100	3,0-3,6	4500
Граммонит 79/21	4300	40-60	3,5-4,2
Игданит	3800	100-120	2,2-2,7

Влияние мощности (скорости детонации) инициатора сказывается лишь на начальном участке развития детонации в 1-2 диаметра – она может быть выше или ниже характерной для данного диаметра заряда, а затем стабилизируется.

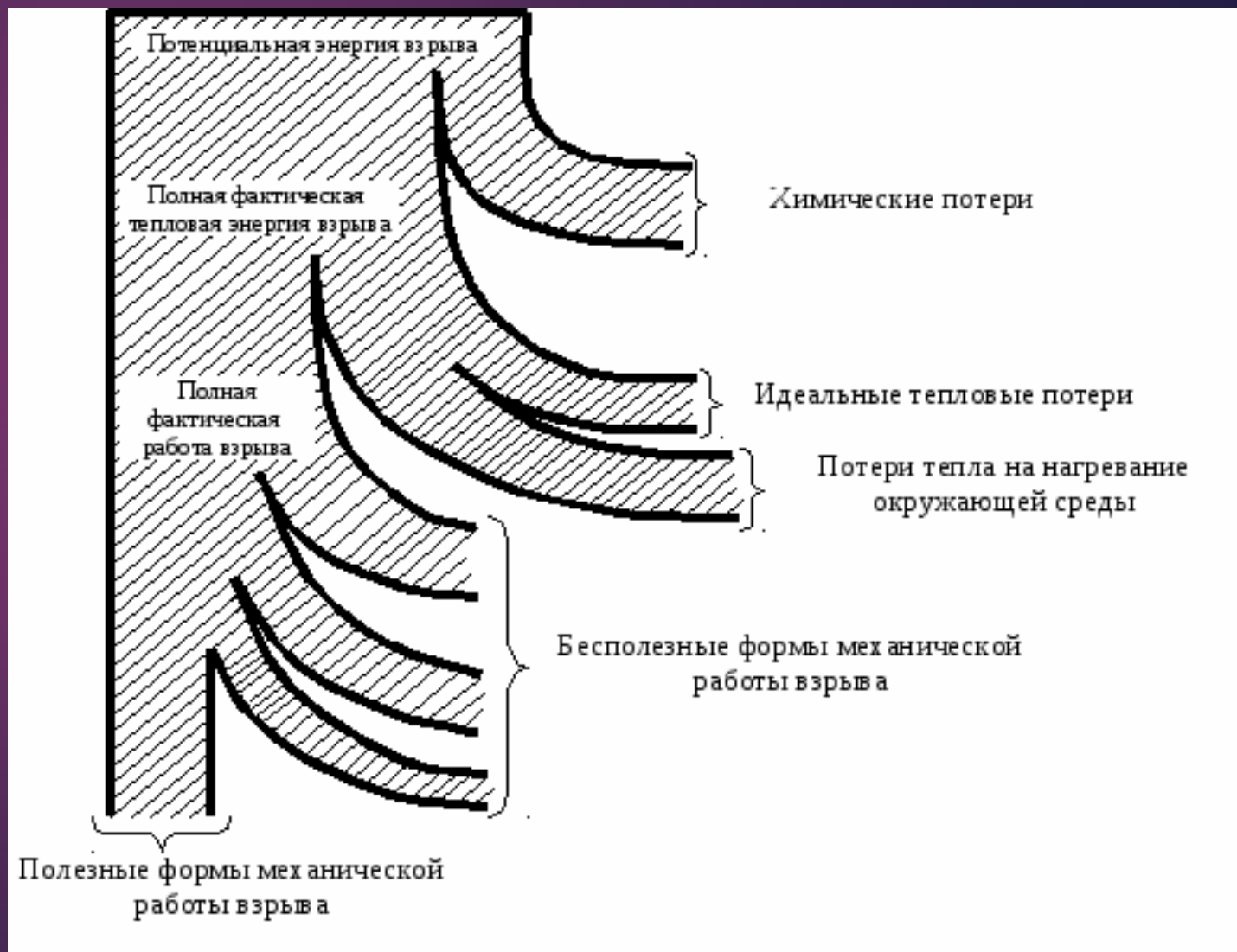
С этой точки зрения для инициирования любого заряда необходимо иметь достаточно мощный точечный источник, который вызовет начальную детонацию в критической массе иницируемого заряда, способной своей энергией обеспечить самораспространение детонации всему заряду с характерной для него скоростью.



Баланс энергии при взрыве.

В результате действия ударной волны на её фронте, образуется чрезвычайно быстропротекающая химическая реакция с выделением огромного количества тепла и газов, создающая **потенциальную энергию взрыва**, которая учитывается по схеме баланса энергии при взрыве.

Полной фактической тепловой энергией взрыва, называют потенциальную энергию ВВ, за вычетом химических потерь. Полной фактической работой взрыва, называют полную фактическую тепловую энергию, за вычетом идеально тепловых потерь и потерь тепла на нагревание окружающей среды. Полезной формой механической работы взрыва, называют полную фактическую работу взрыва, за вычетом бесполезных форм механической работы взрыва.



После взрыва промежуточного детонатора в заряде, формируется ударная волна, распространяющаяся выше скорости звука равной 2800-5000 м/с. в зависимости от типа промышленных ВВ. Но верхняя часть заряда ВВ, не успевает полностью детонироваться, под воздействием которых, через забоечное пространство, выбрасывается на открытую поверхность, которая называется **химическими потерями**.

При детонации промышленных ВВ вокруг заряда, выделяется огромное количество тепловой энергии, равной 2800 – 4200 °С. Часть энергии тепла уходит вглубь массива, а другая часть, уходит через забойку в окружающую среду, которую называют **идеальными тепловыми потерями и потерями тепла на нагревание окружающей среды**.

При массовом взрыве зарядов ВВ имеют место **бесполезные формы механической работы взрыва** связанные с излишним переизмельчением породы, повышенным разбросом разрушенной горной массы и возникновением воздушных ударных волн и сейсмических колебаний, а также других воздействий на окружающую среду.

Энергия, затраченная при взрыве на разрушение, перемещение горной массы, образование сейсмических и воздушных волн, нагревание породы и воздуха, характеризуют **полную работу взрыва**.

Работа взрыва совершается за счет теплоты, выделившейся при взрыве; поэтому **общая энергия при взрыве** равна:

$$E = E_y * Q,$$

где: E_y – удельная теплота взрыва, кДж/кг

Q – масса заряда, кг

Работу, произведенную взрывом по разрушению и перемещению массива породы, называют **полезной работой взрыва A_n** .

Полезная работа взрыва A_n составляет часть полной энергии взрыва:

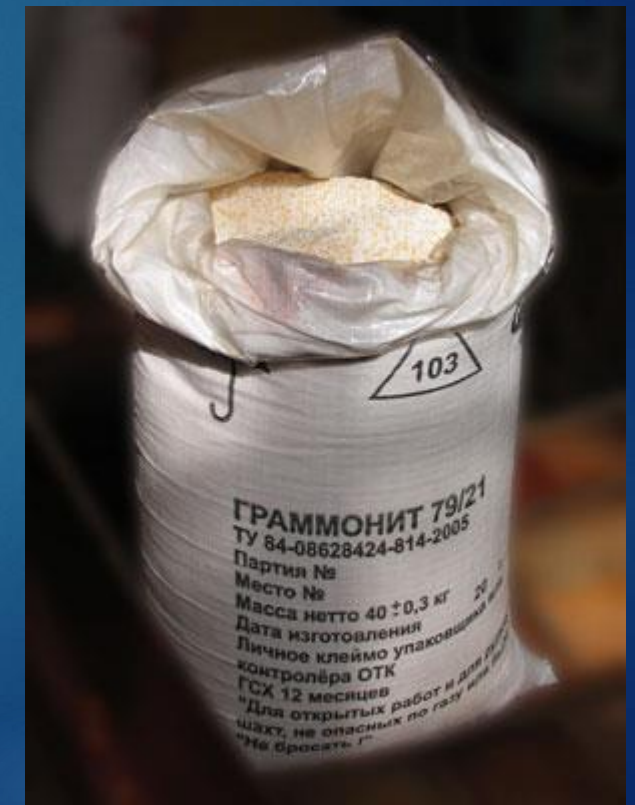
$$A_n = E * \eta_n,$$

где, η_n – КПД взрыва.

Коэффициент полезного действия энергии взрыва на рыхление и на выброс соответственно, составляет равной 10-20% и 3-6% .

Классификация и общая характеристика промышленных ВВ

В настоящее время известно огромное число химических веществ, способных к реакциям взрывного разложения, их количество постоянно увеличивается. По своему составу, физико-химическим свойствам, по способности к возбуждению в них реакций взрыва и по ее распространению эти вещества существенно отличаются друг от друга. Для удобства изучения ВВ их объединяют в те или иные группы по различным признакам.



КЛАССИФИКАЦИЯ ВВ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

По применению ВВ делятся на 3 группы:

- Иницирующие;
- Бризантные;
- Метательные.



Иницирующие взрывчатые вещества – это вещества, способные детонировать от действия простого начального импульса: удара, накола, луча огня и др. даже в очень малых количествах.

Основная форма химического превращения ИВВ – детонация, как правило горение таких веществ сразу переходит во взрыв.

Применяют в конструкциях систем инициирования для возбуждения взрывного процесса в бризантных ВВ.

Бризантные ВВ. Наиболее обширный класс взрывчатых веществ. В отличие от ИВВ они обладают, как правило, значительно большей устойчивостью к простым начальным импульсам. Бризантные ВВ возбуждаются действием взрыва инициирующих ВВ. Возникший взрывной процесс у БВВ переходит в детонационную форму значительно медленнее, чем у ИВВ. Давление продуктов взрыва и скорость взрыва бризантных ВВ достигают соответственно 40 ГПа и 9,5 км/с; температура взрыва превышает 3000 °С, энергия взрыва составляет 4-6 МДж/кг. Бризантные ВВ при поджигании устойчиво горят. Для осуществления перехода горения в детонацию бризантных ВВ требуются специальные условия (прочные толстостенные стальные трубы) или большие количества ВВ.

Важнейшие представители БВВ

- Сложные эфиры азотной кислоты (нитраты): нитроглицерин – $C_3H_5(ONO_2)_3$; нитроцеллюлоза – $C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$.
- Нитросоединения: тринитробензол $C_6H_3(NO_2)_3$; тринитротолуол (тротил) $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$.
- Смесевые взрывчатые системы: аммиачно-селитренные ВВ, где аммиачная селитра – окислитель, горючее – например, тротил (активное горючее), либо смолы (неактивное горючее). В промышленных ВВ горючим компонентом является дизельное топливо; пластичные и эластичные ВВ (в состав таких ВВ входят мощные БВВ и высокомолекулярные соединения (ВМС)).

Метательные ВВ – это пороха. Основная форма взрывчатого превращения – горение, могут детонировать при наличии мощного начальной импульса, замкнутого объема и дефектов в монолитности. Применяют в огнепроводных шнурах, в чистом виде при отбойке штучного камня, а также в качестве компонента смесевых ВВ, чаще всего из утилизируемых боеприпасов. Пороха подразделяются на 2 группы: механические смеси и бездымные пороха (коллоидного типа).

- Черный или дымный порох состоит из 75 % KNO_3 (калийной селитры), 15 % С (древесного угля) и 10 % S (серы).
- Бездымные пороха состоят из нитроцеллюлозы и в зависимости от растворителя делятся на: пироксилиновые, баллиститные.



КЛАССИФИКАЦИЯ ВВ ПО ХАРАКТЕРУ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

- **Высокобризантные**, имеющие скорость детонации $> 4,5$ км/с;
- **Бризантные**, $3,5 - 4,5$ км/с;
- **Низкобризантные**, $2,0 - 3,5$ км/с;
- **Метательные** со скоростью взрывного горения до 2 км/с.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВВ ПО СОСТАВУ И ХИМИЧЕСКОМУ СТРОЕНИЮ

По составу:

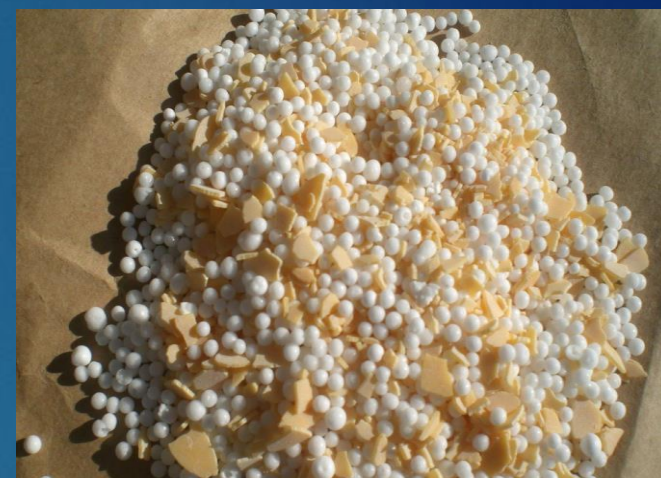
- индивидуальные взрывчатые системы;
- смесевые взрывчатые системы (СВС):
 - а) смеси невзрывчатых компонентов: горючее + окислитель (черный порох, многие ЖРТ);
 - б) смесь взрывчатого компонента с невзрывчатой добавкой:
 - пластичные и эластичные ВВ;
 - ВВ, содержащие различные металлы, например, Al;
 - ВВ, флегматизированные (для снижения чувствительности) инертными добавками;
 - в) смеси из двух и более взрывчатых компонентов: ТГ – "тротил-гексоген"; некоторые ракетные топлива.

По химическому строению:

- Взрывчатые вещества – эндотермические соединения, не содержащие кислород. Такие вещества при взрыве разлагаются на свои составные элементы. Соединения такого типа, как правило, обладают непрочной молекулярной структурой и повышенной чувствительностью к начальному импульсу (азиды, ацетилениды).
- Кислородосодержащие органические соединения, способные либо к частичному, либо к полному внутримолекулярному окислению.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВВ ПО ФИЗИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

- Порошкообразные (аммониты, детониты и т.д.);
- Гранулированные (граммониты, гранулиты и т.д.);
- Прессованные (тротилловые шашки Т-400 и т.д.);
- Литые (литые шашки ТГ-500 и т.д.);
- Водонаполненные и водосодержащие (гелеобразные, суспензионные и эмульсионные ВВ).



КЛАССИФИКАЦИЯ ВМ ПО ГРУППАМ СОВМЕСТИМОСТИ

Группа совместимости (опасности)	Вещества, изделия
<i>B</i>	Изделия, содержащие инициирующие взрывчатые вещества, и имеющие менее двух независимых предохранительных устройств. Включаются также такие изделия, как капсюли-детонаторы, сборки детонаторов и капсюли, не содержащие инициирующего взрывчатого вещества
<i>C</i>	Метательные взрывчатые вещества и изделия (бездымный порох)
<i>D</i>	Взрывчатые вещества и изделия на их основе без средств инициирования и метательных зарядов; изделия, содержащие инициирующие взрывчатые вещества и имеющие два или более независимых предохранительных устройства
<i>E</i>	Изделия, содержащие взрывчатые вещества без средств инициирования, но с метательным зарядом (кроме содержащих легковоспламеняющуюся жидкость или гель или самовоспламеняющуюся жидкость)
<i>F</i>	Изделия, содержащие вторичные детонирующие взрывчатые вещества, средства инициирования и метательные заряды, или без метательных зарядов
<i>G</i>	Пиротехнические вещества и изделия, содержащие их
<i>N</i>	Изделия, содержащие взрывчатые вещества чрезвычайно низкой чувствительности
<i>S</i>	Вещества или изделия, упакованные или сконструированные так, что при случайном срабатывании любое опасное проявление ограничено самой упаковкой, а если тара разрушена огнем, то эффект взрыва или разбрасывания ограничен, что не препятствует проведению аварийных мер или тушению пожара в непосредственной близости от упаковки

Класс ВВ	Группа ВВ	Вид ВВ и условия применения	Цвет отличительной полосы или оболочек патронов
I	-	Непредохранительные взрывчатые вещества для взрывания только на земной поверхности	Белый
II	-	Непредохранительные взрывчатые вещества для взрывания на земной поверхности и в забоях подземных выработок, в которых либо отсутствует выделение горючих газов или взрывчатой угольной пыли, либо применяется инертизация призабойного пространства, исключающая воспламенение взрывоопасной среды при взрывных работах	Красный
III	-	Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания только по породе в забоях подземных выработок, в которых имеется выделение горючих газов, но отсутствует взрывчатая угольная (сланцевая) пыль	Синий
IV	-	Предохранительные взрывчатые веществ для взрывания: по углю и (или) породе или горючим сланцам в забоях подземных выработок, опасных по взрыву угольной (сланцевой) пыли при отсутствии выделения горючих газов; по углю и (или) породе в забоях подземных выработок, в которых имеется выделение горючих газов, кроме выработок с повышенным выделением горючих газов; для сотрясательного взрывания в забоях подземных выработок угольных шахт	Желтый
V	-	Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания по углю и породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых по угольному пласту, когда исключен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газовойздушной смесью, находящейся либо трещинах массива горных пород, либо в выработке	Желтый
VI	-	Предохранительные взрывчатые вещества для взрывания: по углю и (или) породе в выработках с повышенным выделением горючих газов, проводимых в условиях, когда возможен контакт боковой поверхности шпурового заряда с газо-воздушной смесью, находящейся либо в пересекающих шпур трещинах горного массива, либо в выработке; в угольных и смешанных забоях восстающих (более 10°) выработок, в которых выделяется горючий газ, при длине выработок более 20 м и проведении их без предварительно пробуренных скважин, обеспечивающих проветривание за счет общешахтной депрессии	Желтый
VII	-	Предохранительные взрывчатые вещества и изделия из предохранительных взрывчатых веществ V-VI классов для ведения специальных взрывных работ (водораспыление и распыление порошкообразных ингибиторов, взрывное перебивание деревянных стоек при посадке кровли, ликвидация зависания горной массы в углеперепускных выработках, дробление негабаритов) в забоях подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной пыли	Желтый
Специальный(С)	-	Непредохранительные и предохранительные взрывчатые вещества и изделия из них, предназначены для специальных взрывных работ, кроме забоев подземных выработок, в которых возможно образование взрывоопасной концентрации горючего газа и угольной (сланцевой пыли).	-
	1	Взрывные работы на земной поверхности: импульсная обработка металлов; инициирование скважинных и сосредоточенных зарядов; контурное взрывание для заоткоски уступов; разрушение мерзлых грунтов; дробление негабаритных кусков горной массы; сейсморазведочные работы в скважинах; создание заградительных полос при локализации лесных пожаров, другие специальные работы	Белый
	2	Взрывные работы в забоях подземных выработок, не опасных по газу и (или) угольной (сланцевой) пыли; взрывание сульфидных руд; дробление негабаритных кусков горной массы; контурное взрывание, другие специальные работы	Красный
	3	Прострелочно-взрывные работы в разведочных, нефтяных, газовых скважинах	Черный
	4	Взрывные работы в серных, нефтяных и других шахтах, опасных по взрыву серной пыли, водорода и паров тяжелых углеводородов	Зеленый

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВВ. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ СМЕСЕВЫХ ВВ.

Смесевые ВВ состоят из двух или нескольких компонентов, каждый из которых выполняет определенные задачи.

Окислители – вещества, содержащие избыточный кислород, идущий при взрыве на окисление горючих компонентов. В качестве окислителя применяют селитры (аммиачную, калиевую, натриевую) перхлораты калия и аммония и т.д.

В основном применяется аммиачная селитра, которая имеет следующие достоинства:

- является слабым взрывчатым веществом;
- полностью газифицируется;
- имеет невысокую стоимость и неограниченную ресурсную базу (воздух+вода – метод Габера).

Калиевая и натриевая селитры хотя и содержат кислорода больше чем в АС, однако применяются лишь для уравнивания кислородного баланса, ввиду отсутствия взрывчатых свойств.

Аммиачная селитра. Кристаллическое вещество белого цвета. Температура плавления 169,6 °С, при нагреве выше этой температуры начинается постепенное разложение вещества, а при температуре 210 °С происходит полное разложение. Скорость детонации 2570 м/с. С 1 грамма АС при разложении выделяется 0,2 грамма кислорода.




Для изготовления водоустойчивых аммиачно-селитренных ВВ выпускается водоустойчивая аммиачная селитра марки ЖВ. При высокой влажности воздуха аммиачная селитра слеживается, превращаясь в камнеобразную массу. Этого недостатка нет у гранулированной селитры.

Примеси органических веществ даже в небольших количествах значительно повышают детонационную способность и энергию взрыва аммиачной селитры. Парафин и подобные ему вещества, являющиеся флегматизаторами для ВВ, имеющих обычно отрицательный или нулевой кислородный баланс, по отношению к аммиачной селитре в небольших количествах является сенсibilизатором, так как, участвуя в реакции и повышая энергию взрыва, они повышают и восприимчивость селитры к детонации.

Большая часть нитрата аммония используется либо непосредственно как хорошее азотное удобрение, либо как полупродукт для получения прочих удобрений. Для предотвращения создания взрывчатых веществ на основе нитрата аммония в удобрения, доступные в широкой продаже, добавляют компоненты, снижающие взрывоопасность и детонационные свойства чистого нитрата аммония, такие как мел (карбонат кальция). В некоторых странах свободная продажа нитрата аммония даже в виде удобрений запрещена или ограничена.



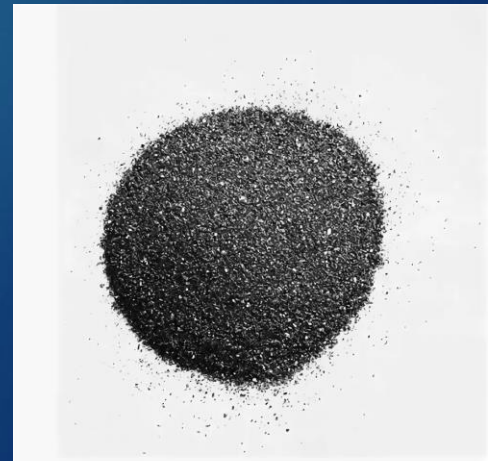


Горючие добавки – твердые или жидкие вещества, богатые углеродом и водородом (древесная мука, соляровое масло) или пудры, порошки легко воспламеняющихся и выделяющих при этом большое количество тепла металлов (алюминия, магния). Горючие добавки вводятся в состав ВВ для увеличения количества тепла, выделяемого при взрыве. Роль горючих добавок выполняют также взрывчатые компоненты, содержащие в своем составе недостаточное количество кислорода для полного окисления содержащихся в них горючих компонентов (тротил, гексоген и др.). При этом часть углерода, выделяемого при взрыве таких ВВ в виде окиси, в свободном состоянии или в виде горючих соединений, реагирует с избыточным кислородом окислителя, повышая теплоту и общую энергию взрыва.

Из жидких горючих добавок применяется соляровое масло всех выпускаемых марок (до 5 %).

Твердые горючие добавки входят в состав ВВ в тонкоизмельченном виде, чтобы увеличить поверхность соприкосновения с селитрой (древесная мука, мука хлопкового жмыха и т.д.). Эти добавки выполняют в составе ВВ также функцию разрыхлителя, снижая слеживаемость ВВ при хранении.

В качестве металлической горючей добавки применяется алюминий в виде пудр и порошков, которые повышают теплоту взрыва за счет большого количества тепла, выделяемого при окислении алюминия, и повышает объемную концентрацию энергии ВВ благодаря увеличению плотности ВВ. Алюминий в составе ВВ можно заменить недорогими ферросплавами, содержащими кремний, ферросилиций (ФС) и силикокальций (СК). Ферросилиций содержит кремний (20—80 %), алюминий (1—3 %), хром (0,2—0,4 %) и марганец (0,2—0,6 %), а силикокальций содержит кальций (10—30 %), алюминий (1—2 %), железо (6—25 %). Замена алюминия другими порошками позволяет получить ВВ с близкими энергетическими характеристиками.




Сенсибилизаторы – вещества, вводимые в состав ВВ для повышения его чувствительности к восприятию и передаче детонации. Это, как правило, мощные ВВ (тротил, гексоген, нитроэфиры: нитроглицерин, нитроглицоль и др.), чувствительные к инициатору, которые в смеси с малочувствительными (аммиачная селитра и т.п.) и с невзрывчатыми веществами (древесная или хлопковая мука, алюминиевая пудра и т.п.) обеспечивают нормальную чувствительность такого смесицевого ВВ к иницированию его капсулом-детонатором, детонирующим шнуром (ДШ) или промежуточным детонатором и одновременно повышают взрывчатые характеристики этого смесицевого ВВ.

Роль сенсибилизатора могут выполнять и невзрывчатые вещества (горючие добавки): алюминиевая пудра, соляровое масло, древесная мука, мелкодисперсный уголь. При этом в смеси с аммиачной селитрой получают простейшие смесицевые ВВ: динамоны, гранулиты (смеси АС-ДТ).

В качестве сенсибилизаторов в современных эмульсионных ВВ применяют специальные газогенерирующие добавки (ГГД) для образования микропузырьков в матричной эмульсии и полые пористые стеклянные или пластмассовые микросферы диаметром до 0,1 мм, играющих, роль т.н. «горячих точек».

При использовании в качестве ГГД нитрида натрия образование микропузырьков азота при взаимодействии с раствором аммиачной селитры, входящей в состав эмульсии, происходит по следующей реакции:





Стабилизаторы. Вводят в состав ВВ для повышения их химической и физической стойкости. В качестве стабилизатора в аммонитах используют древесную, жмыховую и торфяную муку, тальк также играющих роль горючих добавок и разрыхлителей, уменьшающих слеживаемость и повышающих стабильность свойств ВВ.

В нитроэфирных ВВ (содержащих нитроглицерин, нитроглицоль и др.) – мел, сода которые нейтрализуют «следы» кислот (азотной, сернистой), используемых при синтезе нитроэфиров. Кроме этого, введение нитроглицоля в состав ВВ, содержащих нитроглицерин, позволяет создать труднозамерзающие ВВ (если нитроглицерин замерзает при температуре $+13,2^{\circ}\text{C}$, то такая смесь нитроэфиров - при -20°C).

Флегматизаторы - легкоплавкие вещества, масла, имеющие высокую теплоемкость и высокую температуру вспышки, обволакивающие частицы ВВ и не вступающие с ним в реакцию. Введение флегматизаторов снижает чувствительность ВВ к механическим воздействиям и обеспечивает более безопасные условия его применения.

В качестве флегматизаторов используют: вазелин, парафин, различные масла и т.п.

Перед изготовлением промышленных ВВ с добавками гексогена его флегматизируют добавлением 5% парафина. Различные масла, ДТ и др. в количестве 1-2% сверх 100% используются при изготовлении гранипоров, в составе которых используется весьма чувствительные к трению утилизируемые пироксилиновые и баллиститные пороха. Для изготовления детонирующих шнуров (ДШ) используются флегматизированные гексоген и ТЭН.

Пламегасители - вводят в состав только предохранительных ВВ, применяемых для взрывных работ на шахтах и рудниках опасных по газу и пыли, для снижения температуры продуктов взрыва и уменьшения вероятности воспламенения метановоздушных и пылевоздушных смесей в шахтах и рудниках, опасных по газу и пыли.

В качестве пламегасителей применяют хлористый натрий (NaCl), хлористый калий (KCl), хлористый аммоний (NH_4Cl).

Пламегасители поглощают часть тепла, выделяющегося при взрыве, на свое нагревание и испарение (сублимацию), тем самым снижаются теплота взрыва и температура газообразных продуктов взрыва. Кроме того, пламегасители играют роль отрицательных катализаторов (ингибиторов), которые задерживают реакцию воспламенения метана горячими газами взрыва.

Загустители (пластификаторы) применяются в водосодержащих ВВ типа акватолов с целью получения заданной консистенции растворов аммиачной селитры. За счет увеличения вязкости раствора АС повышается физическая стабильность ВВ – снижается степень расслоения ВВ, связанного с оседанием тротила, имеющего большую плотность, в донную часть скважины. Кроме того, снижается вытекание (вымывание) раствора АС по трещинам из скважины.

В качестве загустителей применяют гелеобразующие агенты – природные и синтетические полимеры: натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), полиакриламид, гуаргам и др. КМЦ выпускается в виде мелкозернистого материала или порошка. Хорошо растворяется в воде и в растворах аммиачной селитры. При растворении образуются вязкие гели, которые структурируются небольшими добавками некоторых солей трехвалентных металлов (например, сульфат хрома). При этом насыщенный раствор селитры приобретает вязкость, за счет чего снижается его вытекание по трещинам из скважины и оседание тротила, гранулы которого имеют большую, чем раствор, плотность. Полиакриламид выпускается в виде высоковязкого водного раствора или в виде порошка. По загущающей способности превосходит КМЦ, но используется реже, т.к. имеются сложности в равномерном размещивании высоковязких растворов в растворе селитры. Порошок растворяется хуже, чем КМЦ, и более пригоден для загущения ВВ в заводских условиях. Гуаргам — белый порошок с сероватым оттенком, получается размолом бобов тропической акации. Является эффективным загустителем с добавками буры, оксидов сурьмы и висмута.

Для создания поперечных связей макромолекул загущающих полимеров в ВВВ применяются **структурирующие добавки («сшивки»)**. Для этой цели используют сульфат хрома $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, бихромат натрия $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, калиевые квасцы хрома $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и др.

ОСНОВНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВВ

Порошкообразные ВВ. Как правило – патронированные ВВ заводского изготовления, неводоустойчивые.

Аммониты – ВВ на основе АС и нитросоединений. Обычно состоят из 61-97% АС и 3-21% тротила. Предохранительные аммониты содержат до 20% пламегасителя (NaCl). Для уменьшения слеживаемости добавляют разрыхляющие горючие добавки. Для увеличения восприимчивости к детонации могут содержать до 15% ТЭНа, гексогена, нитроэфиров, нитрометана. Аммониты содержащие малое количество бризантных ВВ при сильном уплотнении не детонируют, при хранении слеживаются, заряд уплотняется и детонационная способность сильно падает.

Аммонит скальный №1: АС -66%, тротил -5%, гексоген -24%, алюминий -5%. Использовался для взрывных работ для взрывания крепких и особо крепких горных пород.

Аммонит №2: АС-88%, тротил -12%.

Аммонит №3 нефтяной (Предохранительный): АС - 52.5%, тротил - 7%, хлорид калия - 30%, нитроэфиры - 9%, стеараты -1.5%.

Аммонит №6ЖВ: эталонное ВВ, АС - 79%, тротил - 21%. Восприимчив к первичным средствам инициирования (КД №8). Критический диаметр без оболочки 10-13мм

Аммонит №7: АС - 81.5%, тротил -14%, древесная мука -4.5%

Заряды контурного взрывания колонковые (ЗКВК) - полиэтиленовые оболочки трубчатой формы диаметром 26 мм заполненные аммонитом № 6ЖВ ГОСТ 21984-76, со стыковочным устройством (муфтой), обеспечивающим сборку в колонки требуемой длины и центрование колонки в шпуре. Предназначены для проведения контурного взрывания на открытых и подземных работах , кроме рудников и шахт, опасных по газу или пыли.

Аммоналы. Порошкообразные смеси, содержащие 66-80.5% АС, мелкодисперсный алюминий в кол-ве 4.5-10%, повышающий теплоту взрыва и фугасное действие. Большое содержание алюминия (более 20-25%) в смесях на основе АС считается нецелесообразным, т.к. резко возрастает кол-во непрореагировавшего металла. Для улучшения водостойкости и детонационной способности обычно содержат нитросоединения (тротил, реже гексоген, ТЭН и т.д.) Восприимчивы к первичным средствам инициирования. Чувствительны к огню. Применяются для взрывных работ в патронированном виде.

Аммонал М-10 (патронированный) предназначен для производства взрывных работ в рудниках, шахтах и выработках, неопасных по газу и пыли, а также на дневной поверхности. Состав: АС- 76%, тротил – 14%; пудра алюминиевая – 10%.

Аммонал скальный № 1 предназначен для производства взрывных работ при ручном зарядании шпуров во всех климатических районах. России. Состав: АС- 66%, тротил – 5%; пудра алюминиевая – 5%, гексоген – 24%.



Гранулированные ВВ. Имеют хорошую сыпучесть, слабо пылят, не слеживаются, пригодны для механизированного заряжания. От порошкообразных ВВ они отличаются меньшей чувствительностью к механическим воздействиям, к пламени и к начальному импульсу. Гранулированные ВВ на основе АС в основном неводоустойчивы.

Гранулотол - гранулированный тротил.

Тринитротолуол $C_7H_5(NO_2)_3$ - является одним из самых распространенных однокомпонентных ВВ. Чистый тротил состоит из кристаллов светло- или темно-желтого цвета с $T_{пл} = 80^{\circ}C$. В промышленности выпускают чешуированный тротил (высшего качества) и гранулированный тротил (для горной промышленности). Практически не растворим в воде, имеет высокую химическую стойкость. При попадании в тротил песка или других твердых примесей резко возрастает его чувствительность к механическим воздействиям, что необходимо учитывать при зарядании скважин. Наиболее восприимчив к инициированию порошкообразный тротил, наименее - литой. Критический диаметр сухого порошкообразного тротила - 8-10 мм. КБ = -74 % из-за чего при взрыве выделяется мало газообразных и значительное количество твердых продуктов (сажи). ТНТ токсичен, особенно в тонкоизмельченном состоянии. Вызывает раздражение кожи и глаз, а также тротилевую интоксикацию организма.

Граммониты представляют хорошо сыпучую смесь из гранул и чешуек тротила и АС. Заряд граммонита взрывается от промежуточного детонатора из патрона аммонита 6ЖВ или шашки промежуточного детонатора.

Граммонит 50/50 – предназначены для производства взрывных работ при ручном и механизированном зарядании сухих и обводненных скважин в температурном диапазоне от -50 до +50 °С. Представляет собой хорошо сыпучее ВВ, не слеживается и не пылит при зарядании, пригоден для механизированного зарядания

Граммонит 30/70 представляет собой механическую смесь гранулированной аммиачной селитры и гранулированного или чешуйчатого тротила. Это ВВ пригодно для зарядания скважин с непроточной водой. Через некоторое время после засыпки его в обводненную скважину образуется суспензия гранулотола в растворе селитры, что увеличивает плотность зарядания до 1,30—1,35 г/см³. Это способствует его детонации с высокой скоростью.

Опыт использования граммонитов 50/50 и 30/70 показал, что они фактически непригодны для зарядания обводненных скважин с высотой столба воды, равной или большей длины заряда. Они полностью непригодны для скважин с проточной водой. Это объясняется тем, что в воде гранулы селитры растворяются и заряд теряет за счет этого свою массу. При длительном зарядании блока (3-5 сут) в скважинах остается один тротил. При этом забойка опускается вслед за зарядом, и может происходить разрыв нитей ДШ, идущих к шашкам промежуточных детонаторов.

Граммонит 79/21 является хорошо сыпучей механической смесью гранулированной селитры с гранулированным или чешуйчатым тротилом. При механизированном зарядании образуется много пыли, поэтому его перед механизированным заряданием увлажняют, добавляя 2—4 % воды. Зарядание вручную не сопровождается существенным пылением. Граммонитом 79/21 можно заряжать сухие и влажные шпуры и скважины. Он имеет нулевой кислородный баланс, одинаков по составу с порошкообразным аммонитом 6ЖВ, и его можно применять и в подземных условиях.



Гранулы селитры покрыты пленкой тротила, благодаря чему они обладают повышенной водоустойчивостью. При наличии слабых проточных вод срок пребывания их ограничивается одними сутками, так как селитра растворяется при нарушении тротиловой оболочки гранулы, что всегда частично происходит при транспортировании и зарядании.

Гранулиты — простейшие ВВ заводского изготовления, состоящие из гранулированной аммиачной селитры, омасленной соляровым маслом и опудренной твердой мелкодисперсной горючей добавкой. Гранулиты используются как при механизированном, так и при ручном зарядании, что позволяет расширить область их применения на небольших карьерах с ручным заряданием. Гранулиты имеют низкую чувствительность к механическим воздействиям, могут детонировать при влажности до 3 %, имеют хорошую сыпучесть и низкую слеживаемость. Невысокая водоустойчивость гранулитов не позволяет использовать их в обводненных скважинах. Для детонации зарядов простейших ВВ необходимо применять промежуточные детонаторы из патронов аммонита 6ЖВ или специальных прессованных шашек ТП-400Г. Опыт работы с простейшими ВВ показывает их преимущество перед тротилсодержащими ВВ в сухих и влажных породах, исключая самые крепкие и крупноблочные, а также обводненные.

Игданит представляет собой бинарную стехиометрическую смесь гранулированной аммиачной селитры и солярового масла, изготавливаемую непосредственно на стационарных пунктах карьера или в смесительно-зарядных машинах. Он предназначен для использования в сухих забоях или в сухой части скважины при комбинированных зарядах. При содержании дизельного топлива в игданите более 6 % резко снижается чувствительность его к детонации и он не взрывается даже от промежуточного детонатора. Игданиты безопасны в обращении, имеют низкую себестоимость, пригодны для механизированного заряжания. Игданит относится к ВВ невысокой мощности и предназначен преимущественно для взрывания пород некрепких и средней крепости.

Недостатки игданита: возможность применения только в сухих скважинах, частичная потеря взрывчатых свойств при длительном заряжании из-за плохого удержания солярового масла гладкими гранулами селитры, флегматизация соляровым маслом ДШ, изготовленного из маслонеустойчивого полиэтилена, вследствие чего могут происходить отказы, низкое качество дробления крепких крупноблочных пород.



Водосодержащие ВВ.

В составе этих ВВ находится вода в виде концентрированного раствора аммиачной селитры. Делятся на составы заводского изготовления и составы, которые готовятся на предприятиях из готовых полуфабрикатов или исходных компонентов.

В отличие от гранулированных все водосодержащие ВВ – многокомпонентные. Поэтому их изготовление сложнее, требует высокой квалификации. Заполнение скважин происходит с помощью зарядных машин. Водосодержащие ВВ имеют различную консистенцию от масс типа жидкого цементного раствора до пластичных, сохраняющих свою форму и упругость. ВВ детонируют со скоростью 4,5-5 км/с. Требуют промежуточного детонатора.

Водный раствор превращается в гелеобразное состояние и становится водоустойчивым с помощью загустителя.

Достоинства водосодержащих ВВ: большая плотность заряжания, водоустойчивость, большая скорость детонации, высокая мощность, низкая чувствительность к внешним воздействиям.

Недостаток: высокая стоимость, замерзают при температуре минус 13-15С, реже при температуре минус 30С

Акванал — водонаполненное горячелюющееся промышленное взрывчатое вещество, обычно содержащее загущённый концентрированный раствор аммиачной селитры, чешуированный тротил и порошкообразный алюминий. Может содержать калиевую или натриевую селитру, карбамид. В качестве структурообразователя используют бихроматы, буру, квасцы и т.д., которые сшивают молекулы загустителя, повышая вязкость и предотвращая оседание дисперсных частиц. Плотность до 1,75 г/см³. Теплота взрыва до 6,1 МДж/кг. По консистенции представляют собой подвижную массу или пластичный студень. Пластичные выпускаются в виде патронов и рукавов. Текучие могут заливаться непосредственно в скважину. Состав акванал М15: АС 58,5%, тротил – 25%; порошок алюминия – 15%; КМЦ – 1,5%; Бура – 0,04%.

Акватолы - содержат тротил, алюминий, воду, АС, натриевую селитру и т.д. Представляют собой как правило текучую смесь граммонита в загущенном водном растворе аммиачной селитры. Наиболее известный – акватол Т20, содержащий около 20 % гранулола и 20 % воды. Плохо восприимчивы к детонации. Для подрыва требуют 2-3 шашки по 400 г тротила. Плотность 1,3 – 1,5 г/см³. Скорость детонации 5000-5600 м/с. Критический диаметр детонации 100-120 мм. Теплота взрыва 3,35-3,77 МДж/кг.

Акватол Т-10МС предназначен для производства взрывных работ при механизированном зарядании сухих и обводненных пород любой крепости, в том числе содержащих примеси сульфидов.

Наименование компонента	Норма, %
Жидкая фаза:	
селитра аммиачная	76,0 ± 3,0
кремниевый золь	9,6 ± 2,0
нефтепродукт	2,4 ± 0,6
Твердая фаза:	
тротил	10,0 ± 2,0
селитра аммиачная гранулированная	2,0 ± 1,5

Карботол – горячельющийся суспензионный состав текущий при температуре выше 50 С, затвердевает после охлаждения в скважине. Смесь компонентов (аммиачная селитра и тротил) делается почти без воды с добавлением карбомида. Имеет высокую плотность заряжения, что увеличивает теплоту взрыва. Может находиться в скважине с непроточной водой до 30 суток. Малочувствителен к механическим воздействиям. Для получения раствора в них добавляется небольшое количество воды (3—5 %). Из-за своей большой плотности и хорошей подвижности такой раствор обеспечивает максимальное заполнение зарядного объёма и позволяют увеличить концентрацию энергии заряда в полтора-два раза по сравнению с гранулированными видами взрывчатых веществ. Их высокая текучесть и сравнительно низкий температурный порог отвердевания/кристаллизации делает их удобным средством взрывания при отрицательных температурах. Нашли широкое применение на открытых горных разработках для взрывной отбойки скважинными зарядами крепких и весьма крепких пород. Компоненты карботола подготавливают на специализированной стационарной установке горного предприятия. К месту взрывных работ их поставляют и заряжают в скважины с помощью смесительно-зарядной машины. При зарядании обводнённых скважин жидкую фазу карботола предварительно загущают и после совмещения с твёрдой фазой структурируют. Карботолы, содержащие свыше 65% жидкой фазы, закачивают в скважину по зарядному шлангу насосом. Водостойчивые карботолы изготавливают в смесителе зарядной машины и нагнетают под столб воды в скважину

Эмульсионные ВВ.

Состоят из водного раствора аммиачной селитры и жидкого нефтепродукта 3 – 7%. Способ приготовления: раствор окислителя, нагретый до 60 – 90С, диспергируют и эмульгируют добавкой небольшого количества эмульгатора в жидком нефтепродукте так, чтобы каждая сферическая капля раствора была покрыта тонкой его пленкой, предохраняющей от контакта с водой при зарядании в обводненные скважины. Охлажденное ВВ сохраняет пластичность при отрицательных температурах, если при изготовлении использовался нефтепродукт с низкой температурой застывания. Для повышения энергии взрыва в состав добавляют твердое горючее: серу, алюминиевый порошок. Эмульсионные ВВ не чувствительны к ЭД и КД. Требуют промежуточного детонатора.

В общем виде **состав эмульсии** выглядит таким образом (компоненты расположены по уменьшению концентрации содержания):

1. окислительная фаза (неорганические соли);
2. вода;
3. горючая фаза (твердые и жидкие виды топлива);
4. эмульгаторы;
5. аэрирующие и модифицирующие агенты.

Порэмит— эмульсионное ВВ, изготавливаемое на стационарных пунктах. Состоит из эмульсии и газогенерирующей добавки, водного раствора нитрата натрия. В состав эмульсии входит селитра аммиачная, селитра натриевая, нефтепродукты и вода.

Порэмит 1А предназначен для производства взрывных работ при механизированном зарядании скважин диаметром не менее 150 мм сухих и любой степени обводненности. Пластичная масса желто-коричневого цвета

Эмуласт – предназначен для формирования скважинных зарядов на земной поверхности в рудах и породах любой крепости, в том числе сульфидсодержащих, при ручном зарядании сухих, осушенных и обводненных скважин любой степени обводненности и проточности диаметром не менее 120 мм в диапазоне температур от минус 50 С до плюс 50 С.



Гранэмиты – являются смесью порэмитов с аммиачной селитрой или АС-ДТ. За рубежом такие ВВ получили название эмуланов, а в России — гранэмитов. Изготавливают гранэмиты в смесительно-зарядных машинах смешением игданита с эмульсией порэмита (при температуре последней не ниже 65°C) непосредственно на месте зарядания скважин.

Гранэмит И-50 предназначен для производства взрывных работ при механизированном зарядании сухих и обводненных скважин (без проточной воды) в породах, не содержащих сульфидные руды, во всех климатических районах. Для изготовления гранэмита И-50 применяется игданит, изготовленный с использованием аммиачной селитры (гранулированной или пористой), дизельное топливо марок Л и З, а также эмульсия порэмита марки 1ИМ-Н. Гранэмит И-50 имеет низкую чувствительность к механическим воздействиям и является трудногорючим веществом.

К капсулям-детонаторам, электродетонаторам и детонирующему шнуру не чувствителен. В качестве промежуточных детонаторов применяют шашки-детонаторы типа Т-400Г, или патронированный аммонит 6ЖВ массой не менее 2 кг,

Эмульсолит предназначен для производства взрывных работ при механизированном зарядании сухих и обводненных скважин в горных породах, не содержащих сульфиды и уголь, в температурном диапазоне применения от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$. Зарядание эмульсолита производится только при опускании зарядного рукава до дна скважины. Шлангоизвлекатель на подъем рукава включается только после заполнения скважины на высоту 1,0 ... 1,5 м. Инициирование эмульсолита производится шашками-детонаторами типа Т-400Г или других типов.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УНИЧТОЖЕНИЮ ВЗРЫВЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ

О каждом уничтожении взрывчатых материалов необходимо составлять акт с указанием количества и наименования уничтоженных взрывчатых материалов, причин и способа уничтожения. Акт составляется в двух экземплярах, которые передаются на склад ВМ и в бухгалтерию организации.

Место для уничтожения взрывчатых материалов необходимо оборудовать согласно проекту. При этом должна быть определена опасная зона.

Уничтожение взрывчатых материалов должно выполняться взрывниками под контролем руководителя взрывных работ.

Уничтожение взрывчатых материалов взрыванием необходимо проводить при помощи доброкачественных взрывчатых материалов: патронированные взрывчатые вещества подлежат уничтожению пачками, а детонаторы, детонирующие шнуры и пиротехнические реле - в любой упаковке способами, исключаящими разброс невзорвавшихся изделий.

Уничтожению сжиганием подлежат взрывчатые материалы, не поддающиеся взрыванию. **Запрещается уничтожать сжиганием детонаторы и изделия с ними.**

Безопасные расстояния при сжигании взрывчатых материалов должны рассчитываться как при взрывании соответствующего количества взрывчатых веществ.

Сжигание взрывчатых материалов разрешается проводить только в сухую погоду в количествах, установленных руководством (инструкцией) по применению.

Взрывчатые вещества, огнепроводные шнуры и детонирующие шнуры необходимо сжигать отдельно, причем на костре разрешается сжигать за один прием **не более 20 кг**. При уничтожении порохов сжиганием они должны рассыпаться дорожками шириной не более 30 см при толщине слоя до 10 см и расстоянии между ними не менее 5 м. Одновременно разрешается поджигать не более трех дорожек с порохами.

Патроны взрывчатых веществ при сжигании необходимо раскладывать в один слой так, чтобы они не соприкасались.

Пороха, заключенные в оболочки, должны уничтожаться в порядке, установленном техническими условиями.

Запрещается сжигать взрывчатые материалы в их таре. Перед сжиганием взрывчатых веществ необходимо убедиться в отсутствии в них средств инициирования.

Для поджигания костра с взрывчатыми материалами необходимо с подветренной стороны прокладывать огнепроводный шнур или дорожку из легковоспламеняющегося материала длиной не менее 5 м. После поджигания взрывник должен немедленно удалиться в укрытие или за пределы опасной зоны.

Поджигание должно проводиться только после окончания всех подготовительных работ и вывода людей в безопасное место.

Запрещается подход к месту сжигания до полного прекращения горения костра с взрывчатыми материалами.

Растворением в воде разрешается уничтожать только неводоустойчивые взрывчатые вещества на основе аммиачной селитры, не содержащие нитроэфира и гексогена.

Растворение допускается проводить в бочках и иных аналогичных сосудах, при этом не допускается загрязнение окружающей среды.

Нерастворимый осадок должен собираться и уничтожаться сжиганием.

По окончании уничтожения взрывчатых материалов персонал, выполнявший работы, обязан убедиться в полном уничтожении изделий с взрывчатыми веществами.

Освободившаяся тара должна быть тщательно очищена от остатков взрывчатых веществ.

Непригодная к использованию тара и тара со следами экссудата должна быть уничтожена сжиганием отдельно от взрывчатых материалов.

Запрещаются выдача взрывчатых материалов со склада при наличии экссудации на поверхности патронов и применение смерзшихся взрывчатых веществ, содержащих жидкие нитроэфиры свыше 15%, а также выполнение с ними каких-либо действий, не связанных с оттаиванием.

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ ВВ

Применяют:

1. **Электрические средства инициирования зарядов:**

- с использованием электродетонаторов с пиротехническим замедлением;
- с использованием электродетонаторов с электронным замедлением.

2. **Неэлектрические средства инициирования:**

- огневое инициирование зарядов ВВ;
- инициирование зарядов детонирующим шнуром (бескапсюльное);
- с использованием низкочастотных волноводов;
- лазерное инициирование зарядов ВВ.

Огневое (электроогневое) инициирование зарядов ВВ.

В настоящее время применение огневого и электроогневого способа инициирования запрещено, за исключением взрывных работ по ликвидации ледовых заторов и дроблению горячих массивов.

Средства инициирования: капсуль-детонатор (КД), огнепроводный шнур (ОШ), средства зажигания ОШ.

Достоинства огневого инициирования:

- простота выполнения взрывных работ
- низкая себестоимость.

Недостатки огневого инициирования:

- повышенная опасность, так как взрывник находится в момент поджигания у зарядов;
- невозможность получения точных интервалов между взрывами;
- невозможность контроля исправности СИ,
- образование большого количества ядовитых газов при сгорании ОШ.

Инициирование зарядов ВВ детонирующим шнуром

Средства инициирования: детонирующий шнур (ДШ), пиротехнические реле.

Достоинства:

- уменьшение опасности выполнения работ по заряданию,
- уменьшение опасности работ по ликвидации отказов,
- простота выполнения работ по взрыванию.

Недостатки:

- невозможность контроля приборами исправности сети перед взрывом,
- возможность отказов от подбоя поверхностной сети.

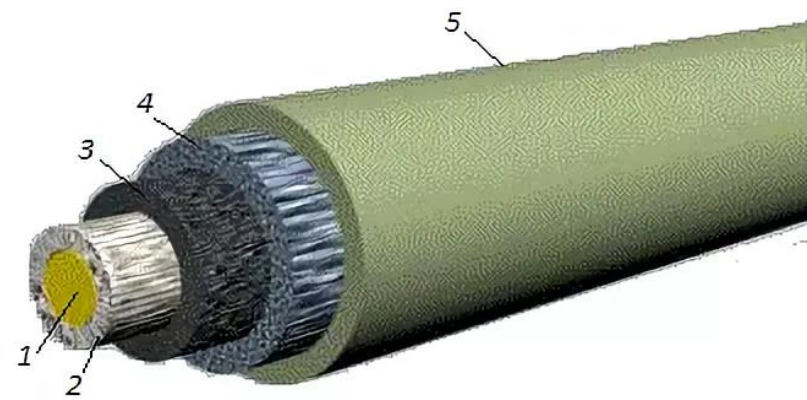
Устройство и принцип действия ДШ.

ДШ предназначен для передачи детонации от КД или ЭД к заряду ВВ или от заряда к заряду на требуемые расстояния. Если сеть из ДШ разветвлена, то детонация передается по всем ветвям одновременно с одинаковой скоростью 6,5 км/с.

Сердцевину ДША изготавливают из ТЭНа с направляющими нитями или без них и покрывают оплетками из льняных и хлопчатобумажных ниток. Для придания водоустойчивости наружные оплетки ДШ покрывают воском или озокеритом, в белые нити внешней оплетки добавляют две красные для внешнего выделения ДШ. ДШВ для подводных работ дополнительно покрывают полихлорвиниловой оболочкой.

Все шнуры устойчиво детонируют от КД и ЭД до температуры 55С, а также при охлаждении до - 35С в течение 2 часов.

Навеска ВВ в 1 м ДША и ДШВ составляет 12-13 г. Он выпускается в бухтах по 50 м, диаметр шнура 5-6 мм.

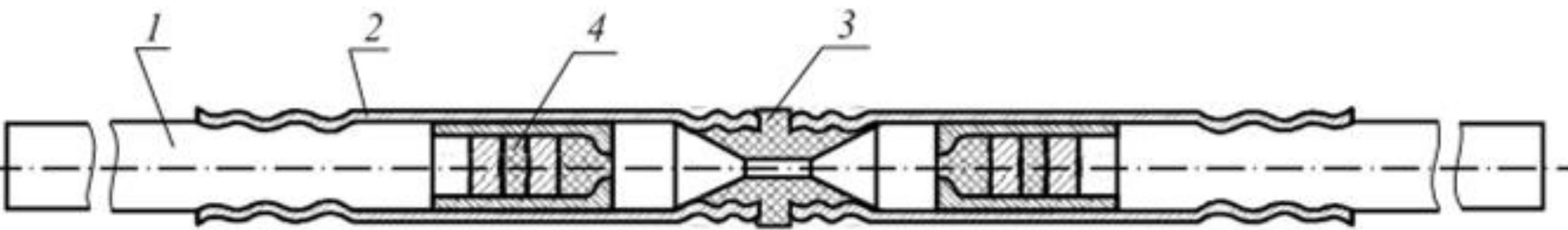


Пиротехническое реле используют для короткозамедленного взрывания зарядов в шпурах или скважинах, взрывная сеть которых смонтирована из детонирующего шнура, при открытых и подземных работах, за исключением шахт, опасных по газу и пыли.

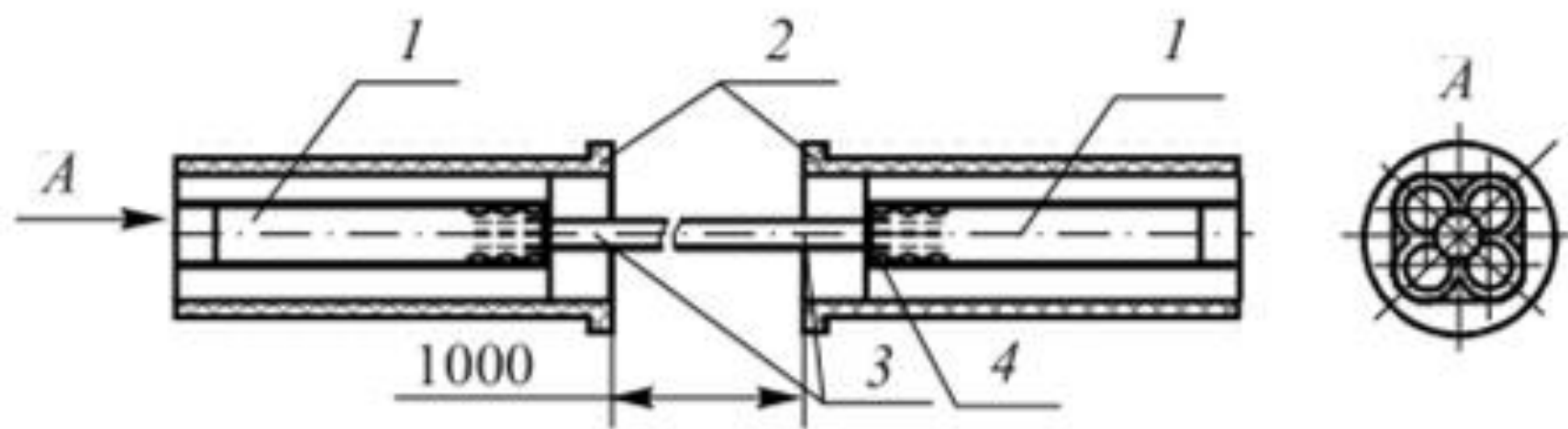
Реле состоит из соединительной трубки, в которую с обеих сторон вставлены нитки детонирующего шнура: одна предназначена для передачи детонации от первоисточника инициирования, другая — для восприятия импульса миллисекундного замедления. Между отрезками ДШ находится замедляющий состав, после сгорания которой взрываются первичные и вторичные заряды, инициируя ДШ.

Замедляющий узел детонационного реле двухстороннего действия состоит из двух последовательно соединенных детонаторов, так что ударная волна от первого детонатора направляется в замедляющий элемент, встроенный во второй детонатор.

Реле включается в магистральную линию в разрыв сети ДШ.



a

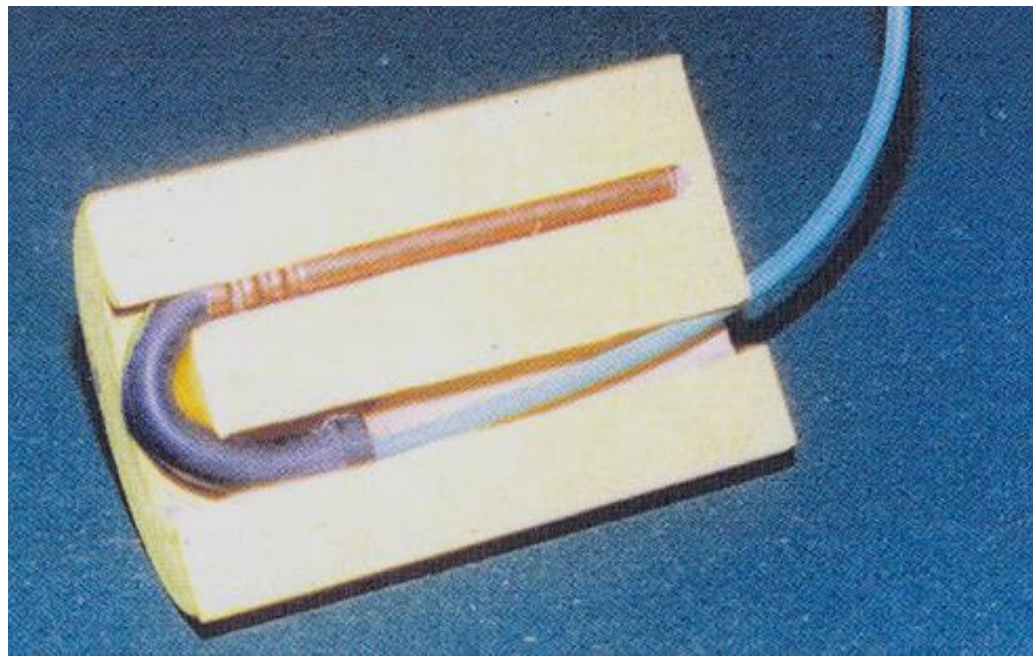
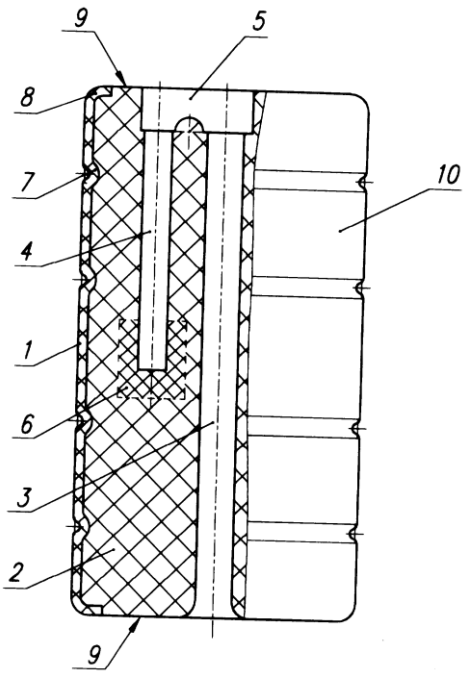


б

Гранулированные, водосодержащие и эмульсионные ВВ инициируются с помощью **промежуточных детонаторов** в виде шашек, патронов ВВ.

Шашки применяют при взрывании скважинных зарядов с использованием ДШ или трубок-волноводов.

Наибольшее распространение получили прессованные шашки из-за более низкой стоимости. Для скважинных зарядов граммонитов, гранулотола боевик делают из двух шашек Т-400Г, связанных на ДШ и размещенных на уровне подошвы уступа. Однако, прессованные шашки обладают низкой водостойкостью, в то время как литая структура обладает неограниченной водостойкостью. Отсутствие в шашках Т-400Г конструктивного решения для применения их с неэлектрическими системами типа “Нонель” и “Эдилин” привело к созданию универсального промежуточного детонатора с гнездом под КД или волновой усилитель.

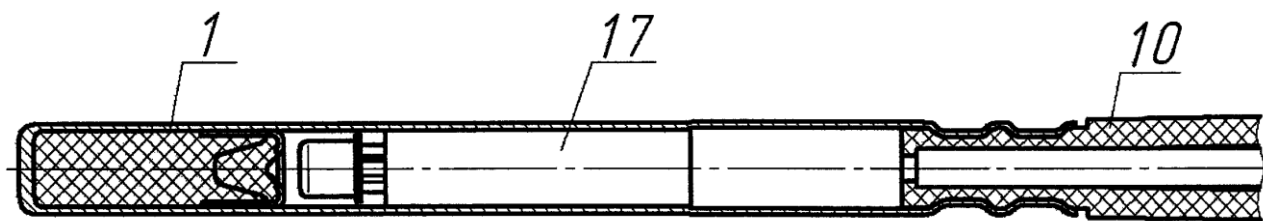


Иницирование зарядов ВВ с помощью волноводов

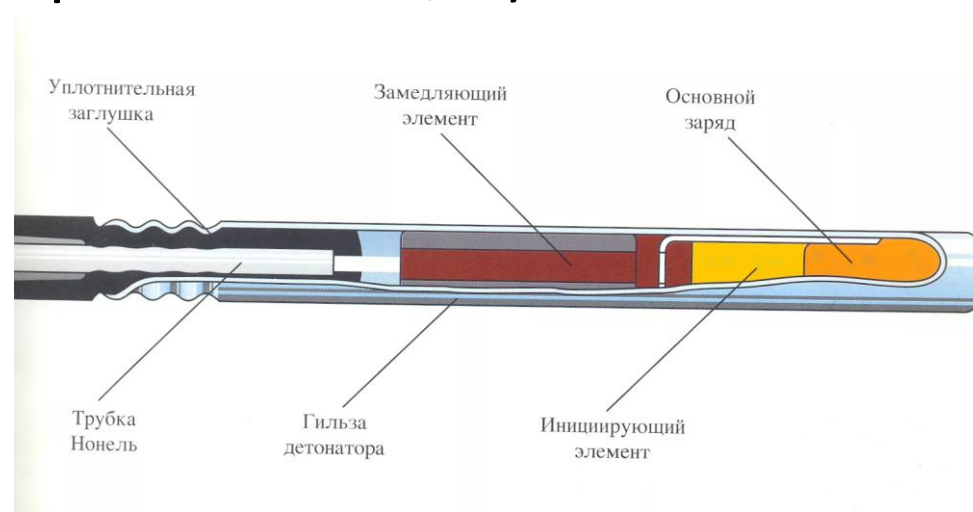
В настоящее время широко применяют неэлектрические системы иницирования основой которых является ударная трубка (волновод), которая служит для передачи иницирующего импульса на неэлектрический детонатор.

Конструкция ударной трубки обеспечивает безопасность и надежность системы в любых сложных условиях в процессе заряжания.

Ударная трубка представляет собой пластиковую трубку малого диаметра, с нанесенным на внутреннюю поверхность канала трубки тонкого слоя реагирующего материала (около 15-50 миллиграмм на 1 п/м).



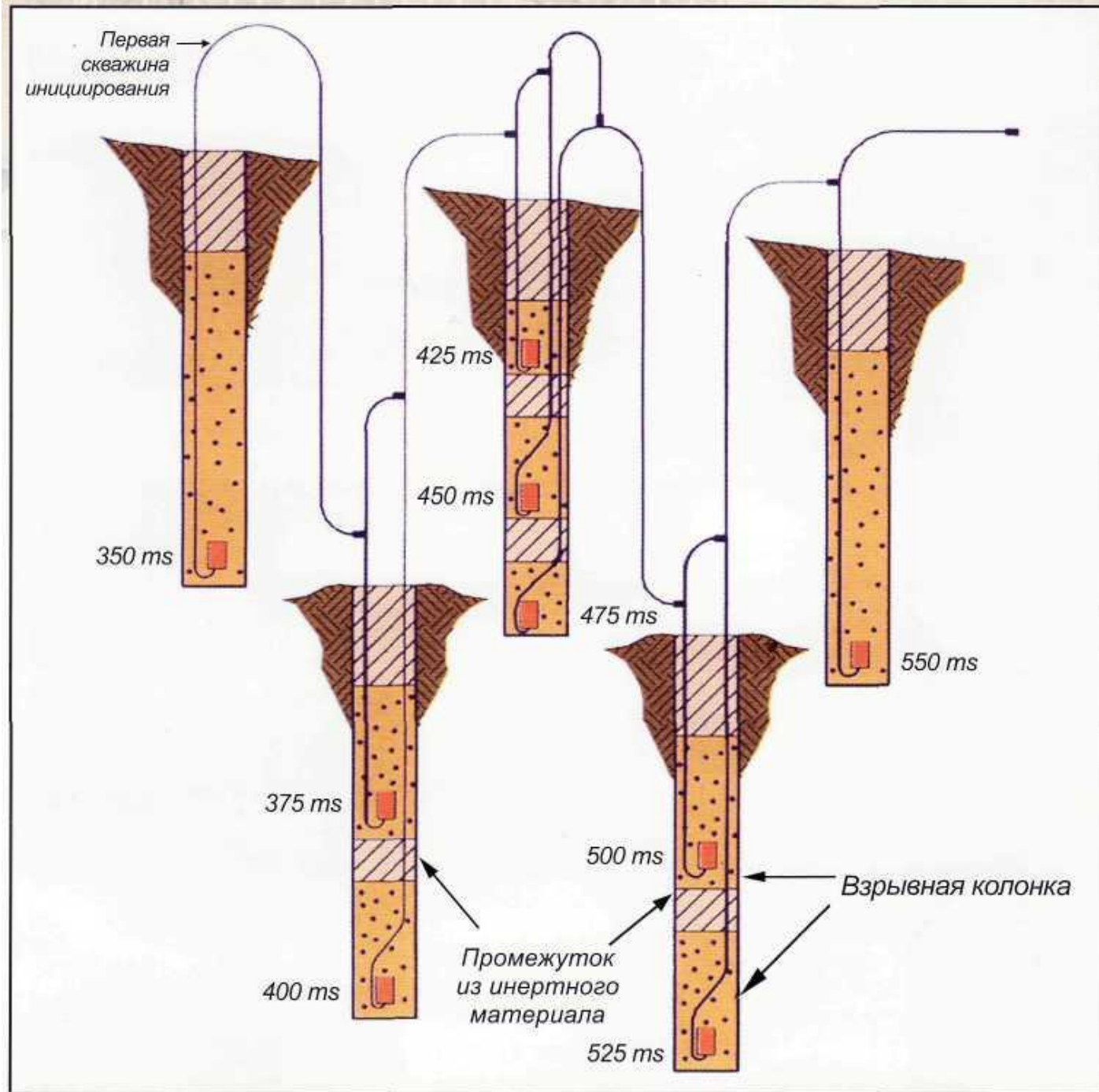
Фиг. 4





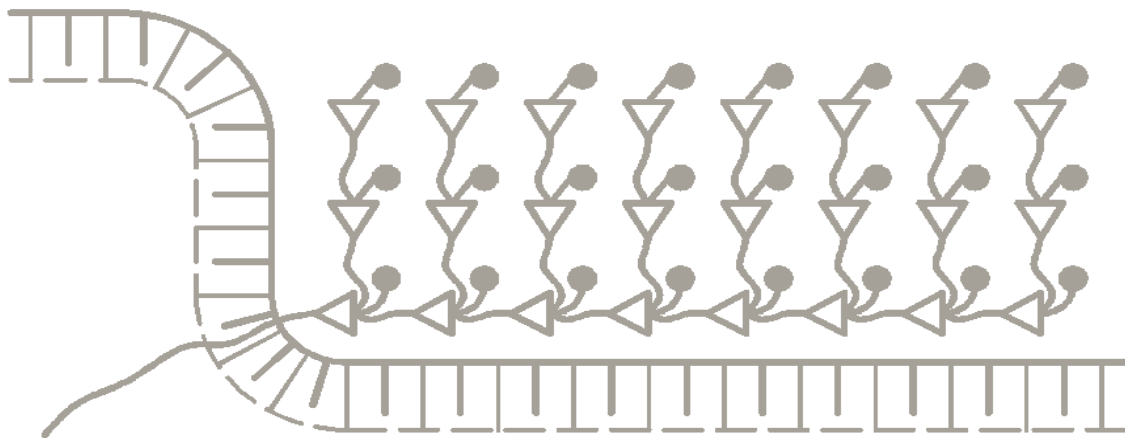
При инициировании ударная трубка надежно передает низкоэнергетический инициирующий импульс со скоростью до 2000 м/с от точки инициирования к противоположному концу. Ударная волна такого типа подобна взрыву пыли, которая распространяется по трубке, расположенной под любым углом и содержащей различного рода узлы и петли. Детонация поддерживается таким малым количеством реагирующего материала, что наружная поверхность ударной трубки не претерпевает никаких изменений после прохождения инициирующего импульса. На способности ударной трубки передавать инициирующий импульс не отражается направление инициирования взрывчатого вещества. Более того, соприкосновение ударных трубок и их пересечение не приводит к передаче импульса от одной трубки к другой.

Ударная трубка, как неэлектрическая система, не передает инициирующего импульса при воздействии высокочастотного радиоизлучения, статического электричества и блуждающих токов, открытого огня, при трении и ударе в нормальных условиях горнодобывающего предприятия.



Специальные применения
 рассредоточенных зарядов с
 применением EZDet®

Варианты схем поверхностной взрывной сети системы «Эдилин»



Схемы монтажа взрывной сети с диагональной отбойкой горной массы.

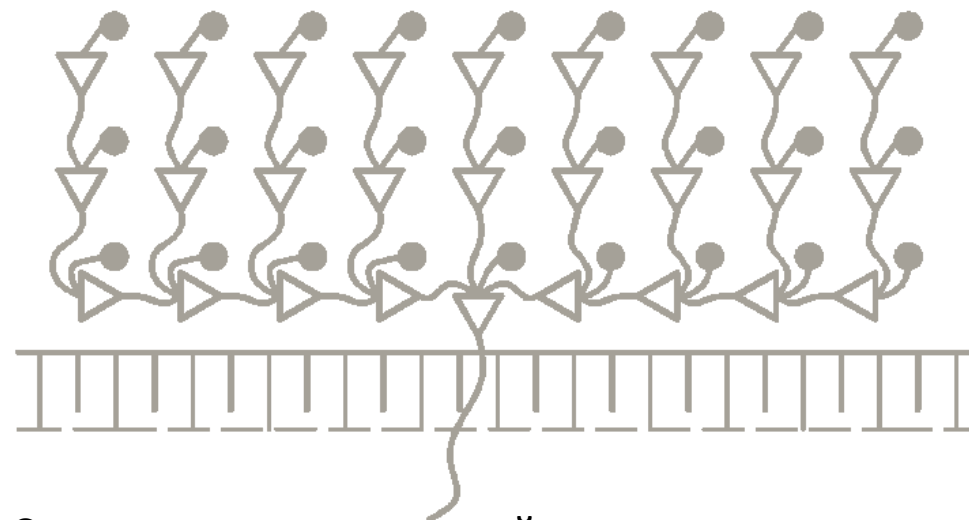
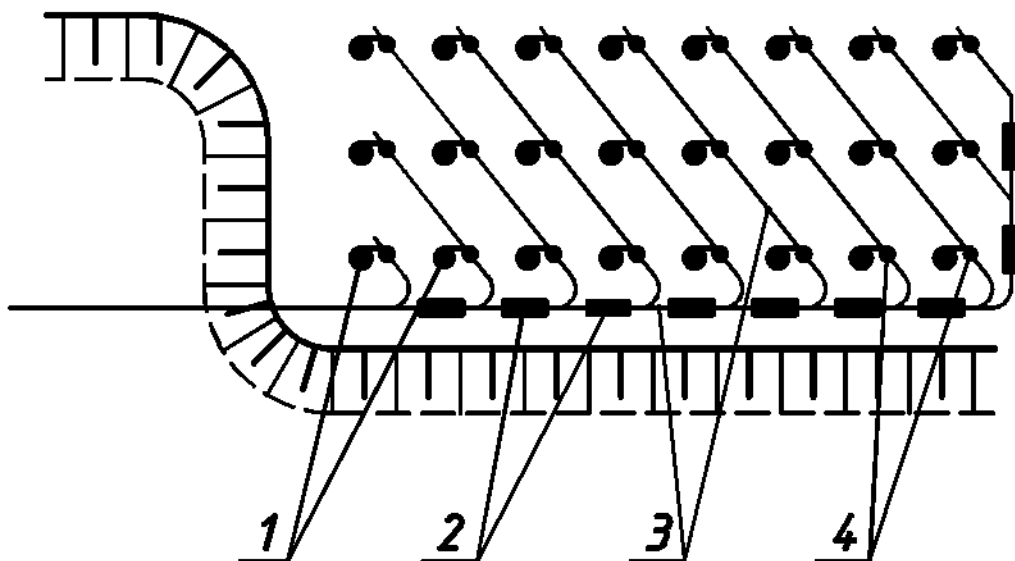


Схема монтажа взрывной сети с клиновым врубом и диагональной отбойкой горной массы.



Комбинированная схема монтажа взрывной сети с применением детонирующего шнура и детонаторов ДБИ1 или ДБИ3.

- 1 – детонатор ДБИ1 или ДБИ3;
- 2 – реле пиротехническое типа РПЭ-2;
- 3 – детонирующий шнур;
- 4 – соединитель В-Ш.

Электрическое инициирование зарядов ВВ.

Средства инициирования: электродетонаторы различных ступеней замедления, провода, источники тока, контрольно-измерительные приборы.

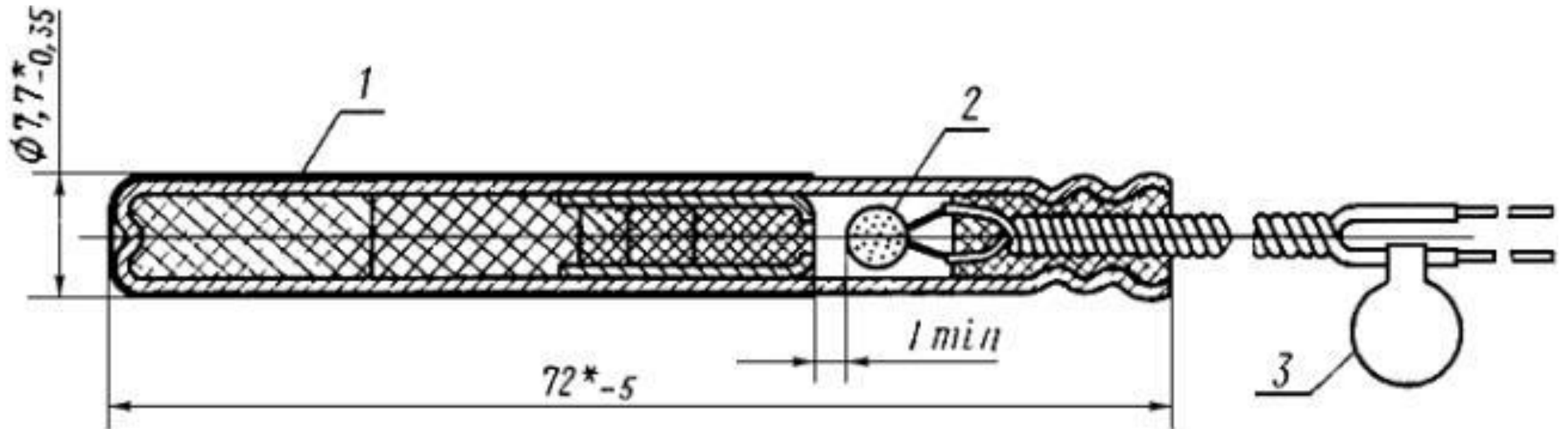
Достоинства электрического взрывания:

- относительная безопасность,
- возможность проверки сети перед взрывом,
- возможность осуществления любой последовательности взрывании серии зарядов,
- неограниченная область применения.

Недостатки электрического взрывания:

- сложность монтажа сети , особенно при соединении большого количества электродетонаторов по смешанным схемам,
- повышенная по сравнению с с огневым и электроогневым взрыванием себестоимость,
- опасность преждевременного взрыва от блуждающих токов .

В электродетонаторе капсуль-детонатор 1 соединен с **электровоспламенителем** 2, имеющим выводные провода и **мостик накаливания**, окруженный **воспламенительной головкой**, покрытой нитролаком. Провода применяют одножильные медные, биметаллические или стальные. Изоляцию проводов изготавливают из резины, полихлорвинила или резины в хлопчатобумажной оплетке. Длина проводов от 1 до 4 м. Свободные концы проводов замыкают накоротко.



Проводники тока

Электровзрывная сеть (ЭС) состоит из ЭД с выводными проводами, концевых проводов, идущих от выводных проводов ЭД до поверхности, участковых проводов, соединяющих концевые провода с магистральными, идущими к источнику тока.

Сеть монтируют из изолированных одно- и многопроволочных медных, алюминиевых или стальных проводов (для шахт, опасных по газу и пыли - только медные).

Нецелесообразно из-за недостаточной прочности монтировать сеть из провода сечением менее $0,2 \text{ мм}^2$. Для магистральных проводов сечение должно быть не менее $0,75 \text{ мм}^2$.

Марка прово-да	Изоляция	Чис-ло жил	Число пров. в жиле	Сечение жилы, мм^2	Сопротивление 1 км провода при $+20^{\circ}\text{C}$, Ом	Масса 1 км провода, кг
ЭР	Резиновая	1	1	0,2	100	6,6
ЭВ	ПХВ	1	1	0,2	100	6,5
ВМВ	ПХВ	1	1	0,75	25	10,63
СП-1	Резиновая в х/б оплетке	1	7	0,75	25	30,0
СП-2	Резиновая	2	7	0,75	25	60,0

Взрывные приборы.

Взрывные приборы - источники тока для электровзрывной, делятся на **автономные** и **сетевые**. Наибольшее распространение получили автономные конденсаторные взрывные приборы. Источником тока в них служит конденсатор, который в течение 10-20 с заряжают от малоомощного первичного источника, вмонтированного в машинку, а затем быстро, в течение 3-4 мс, разряжают в сеть. Промышленностью выпускаются конденсаторные взрывные машинки различных типов - **индукторные** и **батарейные**.

Показатели	Тип взрывной машинки			
	Индукторные		Батарейные	
	КПМ-3	ВМК-500	КПВ-1/100М	ПВВ-100М
Исполнение	Н о р м а л ь н о е		Рудничное взрывобезопасное	
Напряжение на конденсаторе-накопителе, В	1600	3000	600	600
Емкость конденсатора-накопителя, мкФ	2	3,3	10	10
Максим. сопротивление последовательной взрывной сети ЭД-8, Ом	600	2100	320	320
Число последовательно соединенных ЭД-8, шт.	200	800	100	100
Длительность подключения конденсатора, мс	Не ограничивается		2 - 4	2 - 4
Первичный источник тока	И н д у к т о р		3 элемента типа "Сатурн"	
Основные размеры, мм	172x76x x120	280x165x x165	152x122 x100	195x126x x95
Масса, кг	2,3	11,0	2,0	2,7

Контрольно-измерительные приборы

Перед производством взрывных работ определяют исправность электровзрывной сети с помощью приборов, рассчитанных на подачу при измерении в сеть безопасной силы тока - не более 50 мА. По конструкции они делятся на три группы: **стрелочного**, **звукового** и **светового** типа. Приборы первого и второго типа позволяют установить факт исправности сети и получить численное значение ее сопротивления. Световые приборы позволяют определить только проводимость сети, но не могут обнаружить короткого замыкания в ней.

Показатели	Мост переносной постоянного тока Р-3043	Испытатель взрывной светодиодный ВИС-1	Индикатор фотоэлектрический Ю-140
Источник питания	2 элемента 373	4 аккумулятора Д-0,1	Фотоэлемент Ф45-С
Размеры, мм	180x160x62	135x65x40	90x60x30
Масса, кг	1,6	0,3	0,2
Значение тока в цепи:			
Нормальный, мА	7	5	0,3
аварийный, мА	50	50	0,3
Пределы измерений, Ом	0,3-30 30-3000	до 320	0-10000
Погрешность, %	5	5	5

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ИНИЦИИРОВАНИИ.

Перед выдачей **электродетонаторы должны быть проверены** по внешнему виду и электрическому сопротивлению, а также **промаркированы** с присвоением индивидуальных индексов.

При **проверке** электродетонатор должен помещаться в **футерованную металлическую трубу**, за щит или в специальное устройство, исключающее поражение людей в случае взрыва.

Провода электродетонаторов после проверки их сопротивления должны быть **замкнуты накоротко** и в таком положении находиться до момента присоединения к взрывной сети.

Электровзрывные сети должны иметь **исправную изоляцию, надежные электрические соединения.**

Концы проводов и жил кабелей должны быть тщательно зачищены, плотно соединены (сращены) и соединения (сростки) **изолированы** при помощи специальных зажимов.

Электровзрывная сеть должна быть двухпроводной. Использование воды, земли, труб, рельсов, канатов в качестве одного из проводников **запрещается**. До начала заряжания взрывник обязан осмотреть электровзрывную сеть и убедиться в ее исправности.

Электровзрывная сеть должна монтироваться в направлении от заряда к источнику тока.

Постоянная взрывная магистраль должна находиться на расстоянии не менее 100 м от места взрыва.

После монтажа и осмотра электровзрывной сети **необходимо проверить ее токопроводимость**. При проверке токопроводимости сети персонал должен находиться вне опасной зоны.

Перед взрыванием скважинных и камерных зарядов общее **сопротивление** всей электровзрывной сети должно быть **подсчитано и затем измерено из безопасного места** электроизмерительными приборами. В случае расхождения величин измеренного и расчетного сопротивлений **более чем на 10%** необходимо устранить неисправности, вызывающие отклонения от расчетного сопротивления электровзрывной сети.

Концы проводов смонтированного участка электровзрывной сети должны быть **замкнуты накоротко** до момента подсоединения их к проводам следующего участка электровзрывной сети.

Концы магистральных проводов электровзрывной сети также должны быть **замкнуты** до момента их присоединения к клеммам прибора или устройства, подающего напряжение для взрывания.

Со всех электроустановок, кабелей, контактных и воздушных проводов и других источников электроэнергии (в том числе источников опасных электромагнитных излучений), действующих в зоне монтажа электровзрывной сети, напряжение должно быть снято до начала монтажа электровзрывной сети.

При невозможности снятия напряжения с электрооборудования должны приниматься меры защиты от блуждающих токов

Взрывные приборы (машинки) и взрывные стационарные устройства должны храниться в местах, **исключающих доступ** к ним посторонних лиц.

Ключи от взрывных приборов (машинок) при производстве взрывных работ должны находиться у **взрывника**.

Запрещается проводить электрическое взрывание непосредственно от силовой, контактной или осветительной сети.

При электрическом способе инициирования зарядов должно быть исключено касание металлических предметов проводами электродетонаторов и электровзрывной сети.

При взрывании с применением электродетонаторов **выход взрывника из укрытия** после взрыва разрешается только после проветривания, отсоединения электровзрывной сети от источника тока и замыкания ее накоротко, **но не ранее чем через 5 мин.**

Если при подаче напряжения взрыва не произошло, взрывник обязан **отсоединить от прибора** (источника тока) электровзрывную сеть, **замкнуть накоротко** ее концы, **взять с собой ключ** от прибора (ящика, в котором находится взрывное устройство) и только после этого **выяснить причину отказа**.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ

Отечественный ЭДЭЗ, производимый Новосибирским механическим заводом «Искра» позволяет осуществлять инициирование групповых взрывов с заданной временной последовательностью.

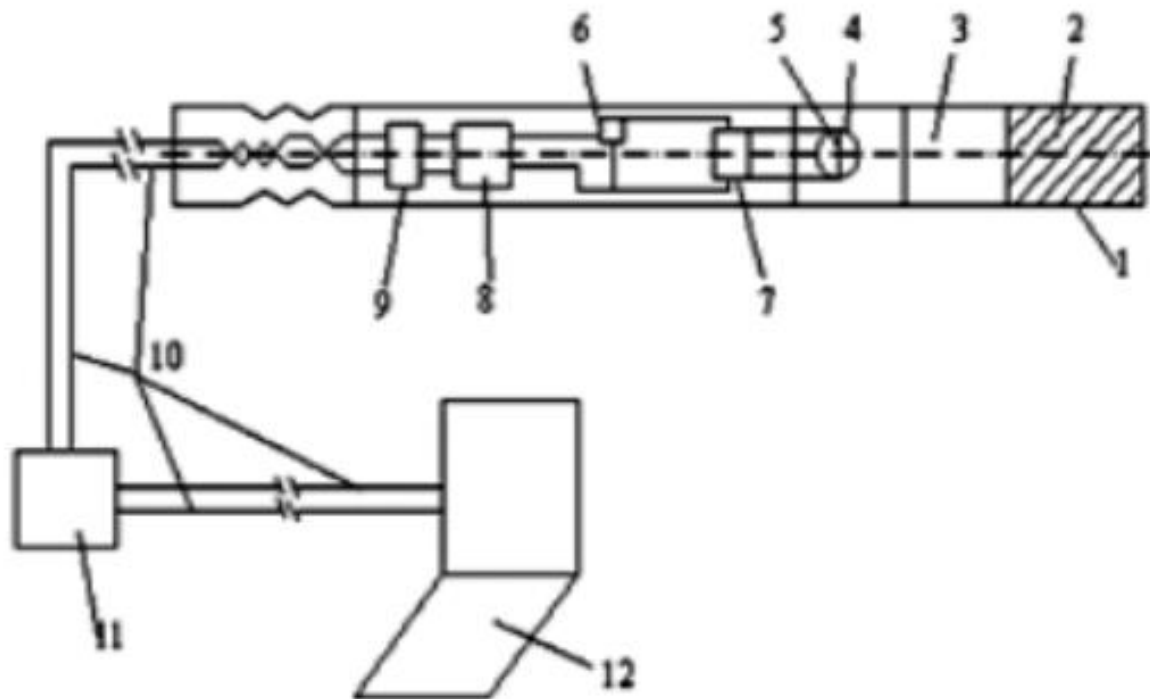


Рис. 1. Схематическое устройство системы взрыва с использованием ЭДЭЗ: 1 – гильза (алюминий и биметалл); 2 – заряд бризантного ВВ; 3 – колпачок с зарядом инициирующего ВВ; воспламенительный состав; 4 – мостик накалывания; 5 – мостик накалывания; 6 – транзисторный ключ; 7 – конденсатор; 8 – микропроцессор; 9 – логическая цепь заряда и управления; 10 – двухпроводная линия связи для передачи импульсных сигналов; 11 – согласующее устройство; 12 – переносной пульт управления

Время задержки, обеспечиваемое электронными детонаторами, составляет 0+12 с, точность задания задержки 1 мс. При проведении групповых взрывов электронные детонаторы с помощью двухпроводной взрывной линии соединяются через согласующий адаптер с портативным управляющим компьютером. Допустимая длина взрывной линии свыше 3000 м, допустимое количество детонаторов на одной взрывной линии до 1000 шт.

Двухпроводная взрывная линия используется как для подачи питания к электронному детонатору, так и для передачи кодированных команд детонаторам и получения ответной информации от детонаторов. Оператор (взрывник) с помощью компьютера может тестировать детонаторы на смонтированной взрывной линии, задавать последовательность взрывания и выдавать команду "подрыв". После получения команды «подрыв» детонатор переходит в режим автономного питания, отсчитывает запрограммированное время и срабатывает даже если взрывная линия к этому моменту разрушена. Каждый детонатор имеет индивидуальный идентификационный номер, запрограммированный в процессе производства детонатора. Благодаря индивидуальному номеру оператор может обращаться к каждому детонатору независимо. В отличие от детонаторов с пиротехнической замедленной электронные детонаторы при разлете не дают тлеющих осколков, что делает их безопасными при применении в запыленных и загазованных шахтах. Детонаторы имеют встроенную защиту от бытовых источников тока (батареи, аккумуляторы, сеть 220 В). Это исключает возможность несанкционированного применения таких детонаторов. Наличие у детонаторов индивидуального идентификационного номера позволяет проследить пути утечки детонаторов в случае их хищения.

Электронная система взрывания i-kon™ II компании Orica предназначена для инициирования боевиков в скважинных (шпуровых) зарядах с программируемым замедлением детонаторов при проведении взрывных работ на земной поверхности, а также в шахтах, не опасных по газу и пыли. Система i-kon™ II является одной из самых совершенных электронных систем инициирования на рынке и особенно хорошо показывает себя в сложных и комплексных взрывах как в ходе открытых, так и подземных горных работ.

Ключевыми преимуществами системы являются:

1. Возможность проведения больших взрывов (4800 детонаторов) и интеграция программного обеспечения SHOTPlus® 5, позволяют синхронизировать результаты взрыва;
2. Двусторонняя коммуникация и высокая точность (коэффициент вариации снижен по сравнению с предыдущей моделью с 0,01% до 0,005%) обеспечивают улучшение показателей безопасности взрывных работ, особенно таких, как снижение разлета горной массы, большая устойчивость бортов карьеров и потенциальное исключение случаев отказа зарядов взрывчатых материалов;
3. Требуемое время программирования детонаторов i-kon™ II занимает не более 2 минут для программирования 200 детонаторов;
4. Программируемость и точность детонаторов i-kon™ II позволяет контролировать результаты взрывания, а также улучшить контроль вибраций и частоты колебания грунта;

Тема 5.

Процессы разрушающего действия взрыва зарядов ВВ

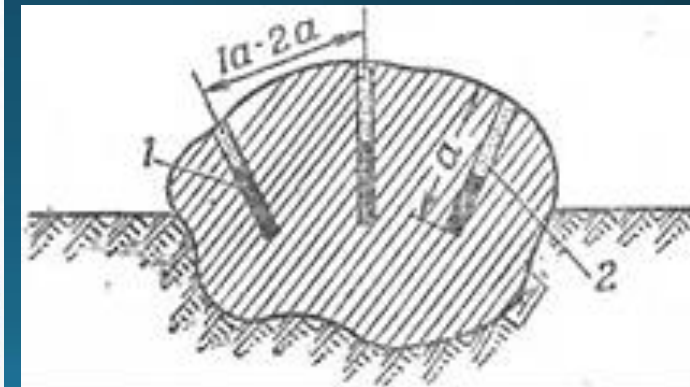
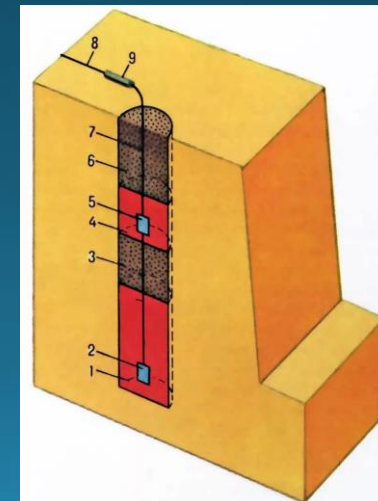
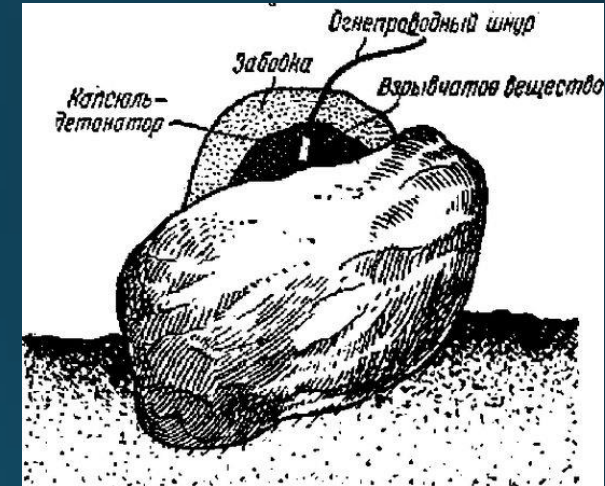
ПРОЦЕССЫ РАЗРУШАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВА ЗАРЯДОВ ВВ

Заряд ВВ - определенное количество ВВ, подготовленное к взрыву с введенным в него инициатором.

Заряды для разрушения массива горных пород с целью добычи минерального сырья **классифицируются** по нескольким признакам:

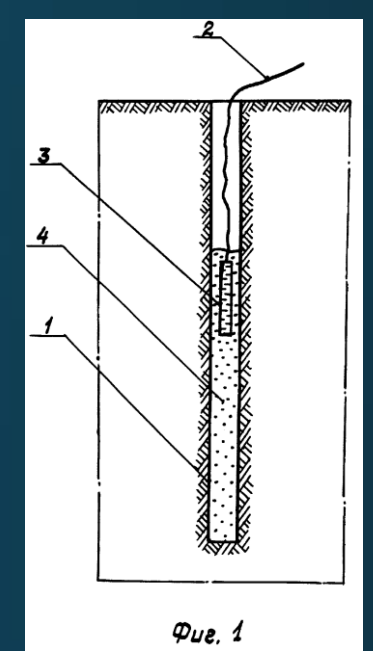
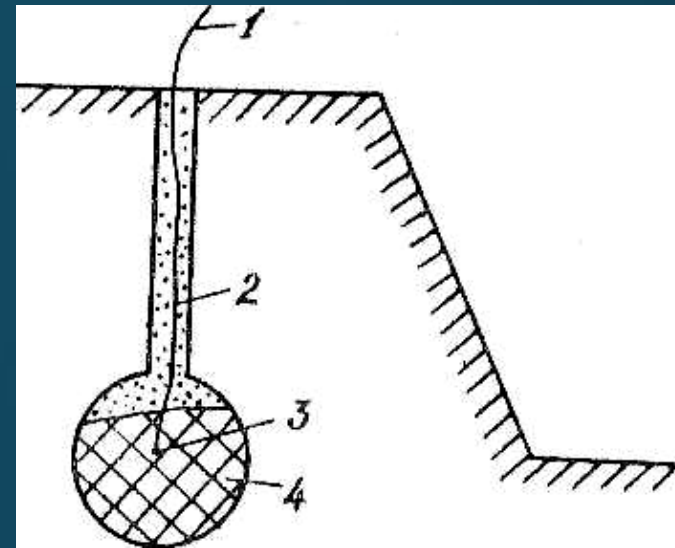
по положению:

- **наружный (накладной) заряд**, помещаемый на взрываемом объекте, применяют в основном дробления негабарита, обрушения козырьков на уступах, при подводных взрывах, штамповке, резке, упрочнении металлов;
- **внутренний заряд** - помещаемый внутри взрываемого объекта (в шпуре, скважине, камере) для отбойки горных пород на карьерах и рудниках, проходки горных выработок различного профиля и назначения в горном деле и строительстве, мелиорации.



по форме:

- **сосредоточенный** (отношение длины или диаметра к ширине или высоте не более 3);
- **удлиненный** ($L > 3 D$), на карьерах применяют преимущественно удлиненные заряды.



Фиг. 1

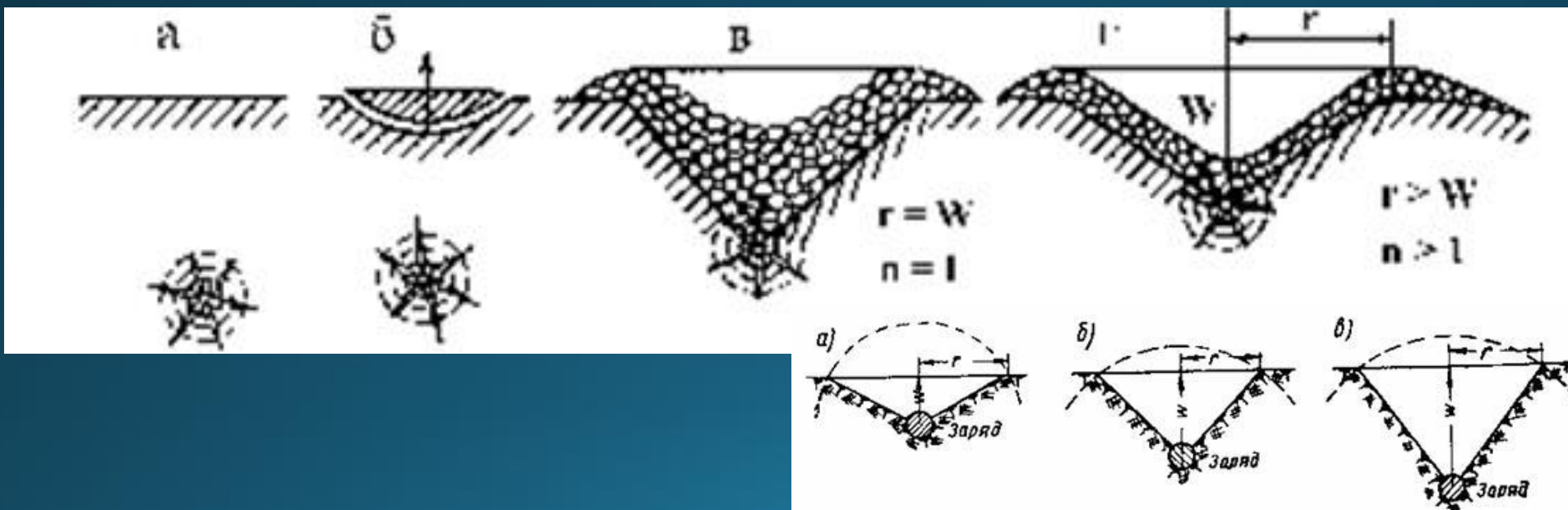


по конструкции:

- **сплошной**;
- **рассредоточенный** (отдельные части заряда разделены промежутками воздуха, воды, дробленой породы и пр.).

по характеру действия:

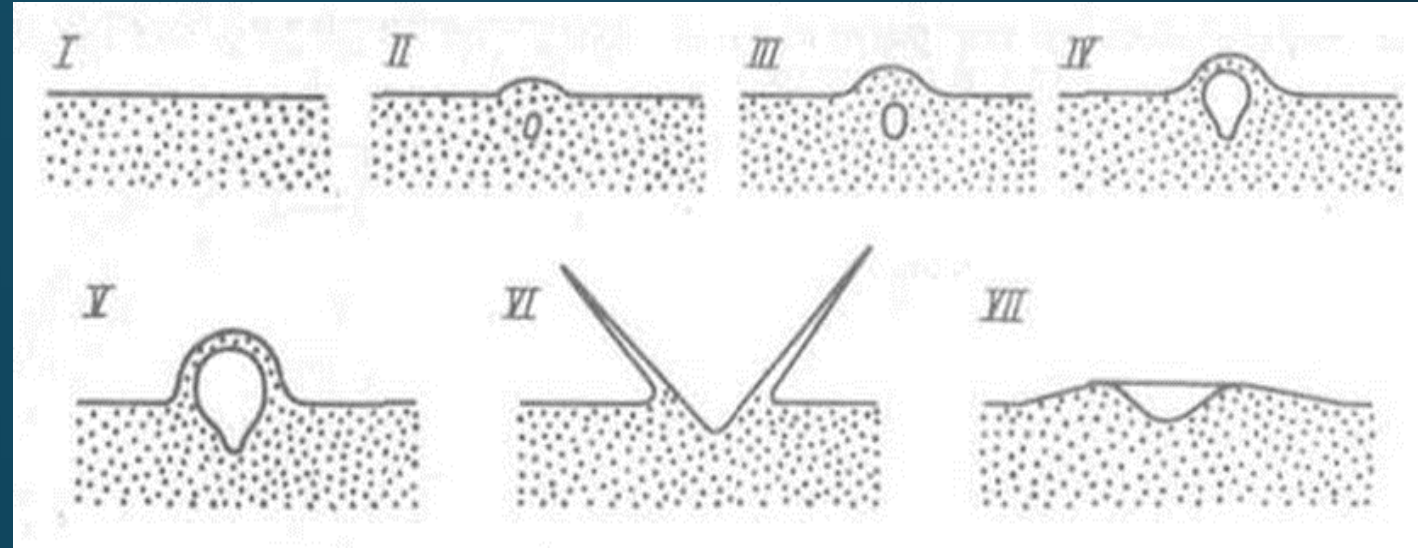
- **заряд камуфлета**, при взрыве которого разрушение (измельчение и трещинообразование) происходит только вокруг места расположения заряда без проявления видимых разрушений на открытой поверхности массива (а);
- **заряд откольный**, при взрыве которого происходит откол породы у открытой поверхности и разрушение вокруг заряда (б);
- **заряд рыхления**, вызывающий дробление породы в пределах от места расположения заряда до открытой поверхности массива без ее выброса из зоны (воронки) разрушения. При взрыве сосредоточенного заряда в массиве с одной открытой поверхностью образуется конусообразная зона разрушения, которую принято называть воронкой разрушения или воронкой взрыва (в);
- **заряд выброса**, вызывающий дробление и выброс породы за пределы воронки взрыва (г).



Изменение характера действия взрыва от камуфлета до выброса можно достигнуть изменением глубины заложения или массы заряда.

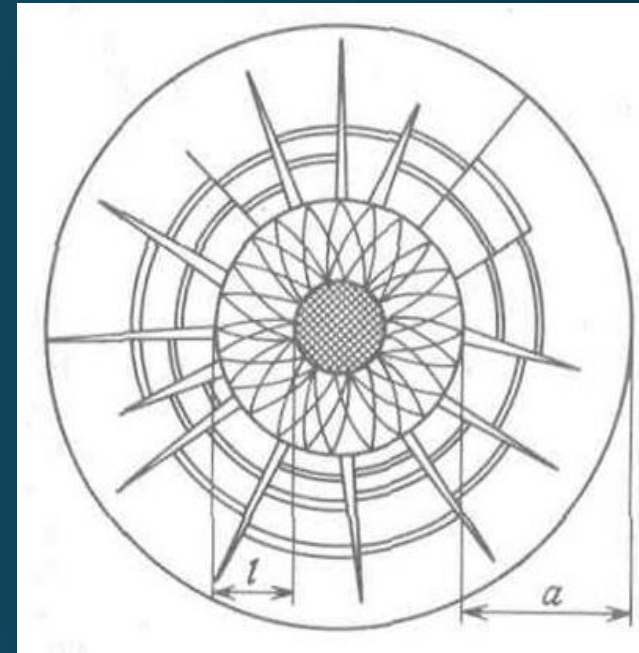
Процесс разрушения пород взрывом одиночного заряда

Все породы по механизму процесса разрушения делят на три группы: **грунтовые массивы, скальные монолитные и скальные трещиноватые массивы.** Процесс разрушения можно охарактеризовать следующим образом.



Грунтовые массивы. Пески, супеси, глины и суглинки разрушаются под действием запаса кинетической энергии, приобретаемой средой при расширении продуктов взрыва. Разрушение под действием волн напряжений в массиве незначительно. При взрыве вокруг заряда **образуется расширяющаяся шаровая полость**, заполненная газами взрыва, которая при приближении к открытой поверхности приобретает **асимметричную грушевидную форму** с большой осью, направленной по ЛНС заряда. Изменение формы полости происходит из-за различной сопротивляемости перемещению участков массива – вниз расширяться некуда. При дальнейшем **движении вверх оболочка прорывается** в верхней части и движение породы происходит за счет баллистического полета отдельных ее частиц. Масса породы затем падает вниз **с образованием открытой воронки**, у краев которой образуется гребень разрушенной породы, часть которой сползает вниз, придавая воронке угол естественного откоса, характерного для данной породы, уменьшая глубину и объем воронки.

Скальные монолитные массивы разрушаются при скорости детонации ВВ значительно **большой скорости деформации породы**. В первую стадию детонационная волна ($C_{дв} = 4-6$ км/с) выходит на поверхность контакта заряд-порода, в последней генерируется **ударная волна** ($C_{уд} = 3-5$ км/с) **высокой амплитуды**, превышающей на порядок предел прочности на сжатие, которая производит интенсивное мелкодисперсное (доли миллиметра) дробление породы в условиях всестороннего сжатия с интенсивной диссипацией энергии. На этой стадии **радиус действия** промышленных ВВ не достигает и **одного радиуса заряда**. При этом происходит быстрое уменьшение амплитуды ударной волны.

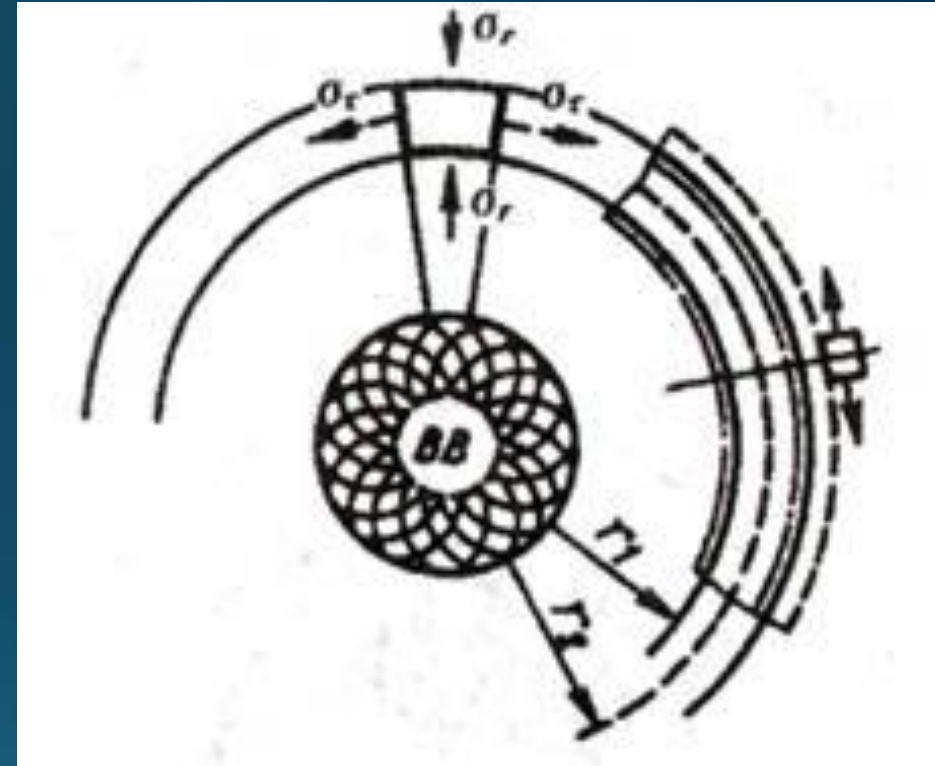


По мере удаления от заряда амплитуда ударной волны резко снижается (обратно пропорционально пятой или шестой степени радиуса по Г.И. Покровскому) и на расстоянии 5-6 радиусов заряда превращается в **упругую волну напряжения, распространяющуюся со скоростью звука** в породе. Скорость ее меньше, чем у ударной волны, но амплитуда еще значительно **выше прочности пород на раздавливание**, поэтому передний фронт волны распространения упругой волны является одновременно и фронтом поверхности разрушения породы, после ее прохождения наблюдается интенсивное разрушение массива, часто с потерей им первоначальной структуры. Это **зона измельчения или пластического действия взрыва**, ограниченная обычно **10-12 радиусами заряда**. Определенное разрушение производят в этой зоне и газы взрыва, находящиеся под чрезвычайно высоким давлением (40-70) 10^8 Па.

На **второй стадии** действия взрыва имеют место **расширяющаяся полость, заполненная газообразными продуктами детонации**, и зона мелкодисперсного дробления породы. Давление газов в полости передается через раздробленную породу на передний фронт упругой волны, разрушающей породу. **Порода** вблизи заряда под указанным воздействием взрывной волны и газов взрыва **быстро сжимается и смещается** вслед за фронтом волны напряжения, что приводит к **образованию зоны сильно деформированной породы** с системой многочисленных пересекающихся трещин.

В процессе распространения упругой волны амплитуда уменьшается как за счет диссипации энергии при разрушении породы, так и вследствие расхождения – увеличения длины фронта с увеличением радиуса его поверхности. По мере удаления от заряда **напряжения в породе от взрыва снижаются** и на определенном расстоянии становятся **меньше сопротивления породы раздавливанию**, что меняет характер деформации и разрушений среды.

Третья стадия действия взрыва начинается в момент, когда амплитуда переднего фронта упругой волны уменьшится до значений динамической прочности породы. Под действием **прямой волны напряжений и сжатых газов** взрыва в среде в **радиальном направлении** возникают **сжимающие напряжения**, а в **тангенциальном** – **растягивающие**, вызывающие появление **радиальных трещин**. Это вызвано тем, что порода под действием высокого давления деформируется и радиусы условно выделенных вокруг заряда сфер увеличатся и порода в радиальном направлении будет испытывать растягивающие напряжения, приводящие к развитию в массиве радиальных трещин, расширяющихся под действием газов взрыва. При дальнейшем **удалении волны деформации** от заряда растягивающие тангенциальные напряжения становятся меньшими величины сопротивления породы растяжению и разрушение прекращается – имеют место только **упругие колебания частиц породы**.



В **четвертой стадии** взрыва после резкого снижения давления газов в центре взрыва вследствие прорыва газов в атмосферу через многочисленные трещины, **сильно сжатая порода** будет **разгружаться и смещаться** в сторону центра заряда, уменьшая условный радиус сферы и вызывая в породе напряжения растяжения в радиальных направлениях и появляются **кольцевые тангенциальные трещины**.

При взрыве заряда **вблизи открытой поверхности** частицы породы, не имеющие преграды, под действием достигшей этой поверхности волны напряжений **начинают свободно двигаться** в сторону этой поверхности, вовлекая в этот процесс все более отдаленные слои среды. По массиву начинает **распространяться отраженная волна** с **растягивающими напряжениями** на ее фронте, представляющая собой отраженную от открытой поверхности волну сжатия с зеркальным мнимым изображением центра заряда с формированием **откольной воронки**.



Трещиноватые скальные массивы разрушаются как под действием **давления газов взрыва**, так и под действием **волны напряжений**, а разрушения распространяются как от зарядной камеры, так и от открытой поверхности навстречу друг другу.

Сквозные **трещины** массива являются **поверхностями раздела**, которые препятствуют распространению волны напряжений и разрушений. У поверхности каждой трещины происходит **скачкообразное падение напряжений** в волне за счет ее частичного отражения от трещины, поэтому напряжения в таком массиве снижаются с расстоянием более интенсивно, чем в монолитном, а трещины от заряда распространяются на меньшее расстояние. В массе породы создается **несколько очагов разрушения** под действием прямых, отраженных волн, газов взрыва и соударения пород различных зон.

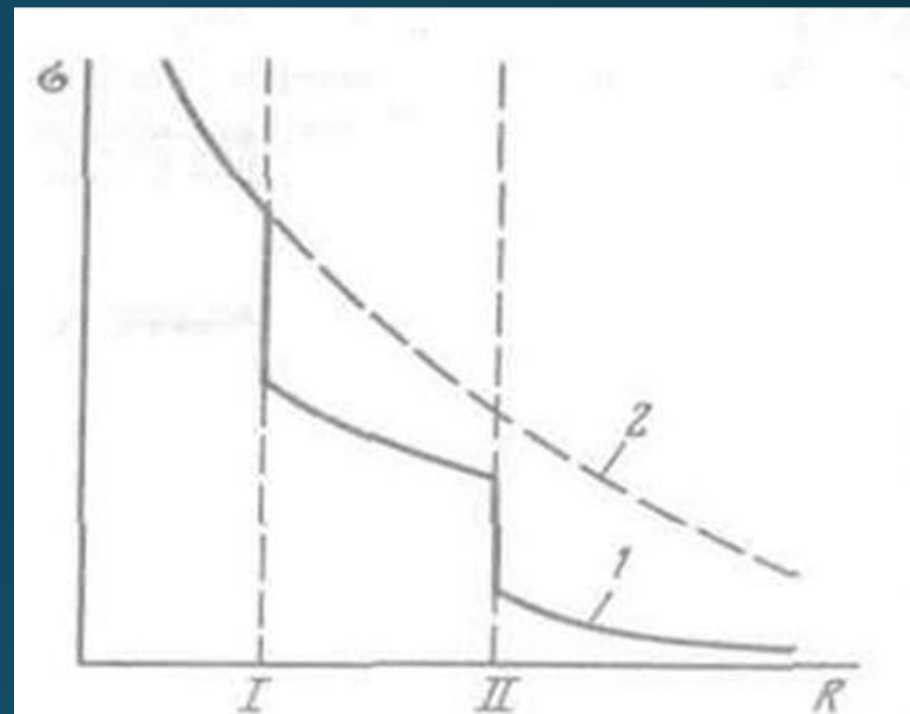


График изменения величины напряжений σ на разных расстояниях от места взрыва R в трещиноватом и монолитном массивах:
 I и II — плоскости трещин в массиве



В трещиноватом массиве имеет место **два механизма разрушения** отдельностей при взрыве:

- **волновой характер** для отдельностей, пронизанных зарядом или имеющих с ним контакт;
- **кинетический (механический) характер** для отдельностей за пределами зоны волнового воздействия взрыва.

Поэтому выделяют **две зоны разрушения**:

зону регулируемого дробления с прямым воздействием на породу – изменением параметров взрывного воздействия можно менять интенсивность разрушения породы;

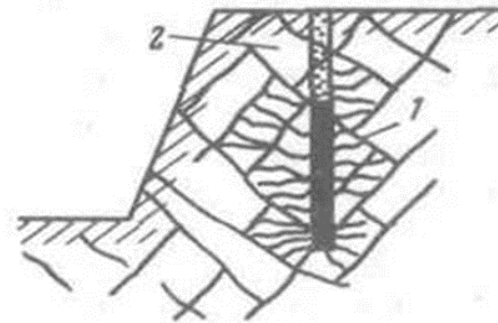
зону нерегулируемого дробления, где разрушение происходит при механическом соударении. С ростом масштаба взрыва объем этой зоны растет.



Схема разрушения сильнотрещиноватого массива горных пород при однорядном взрывании.

[Мосинец, Абрамов, 1982].

I — зона дробления; II — зона рыхления; 1 — естественные трещины массива; 2 — трещины, формируемые в результате соударения; 3 — трещины, формируемые в результате растяжения под действием воли напряжения.



Зоны (1 и 2) дробления взрывом трещиноватого массива

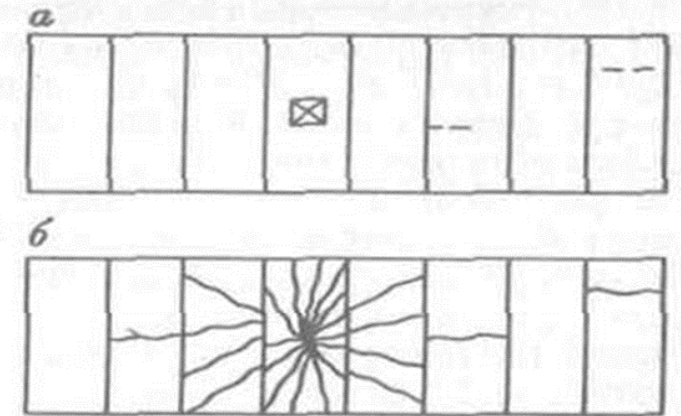
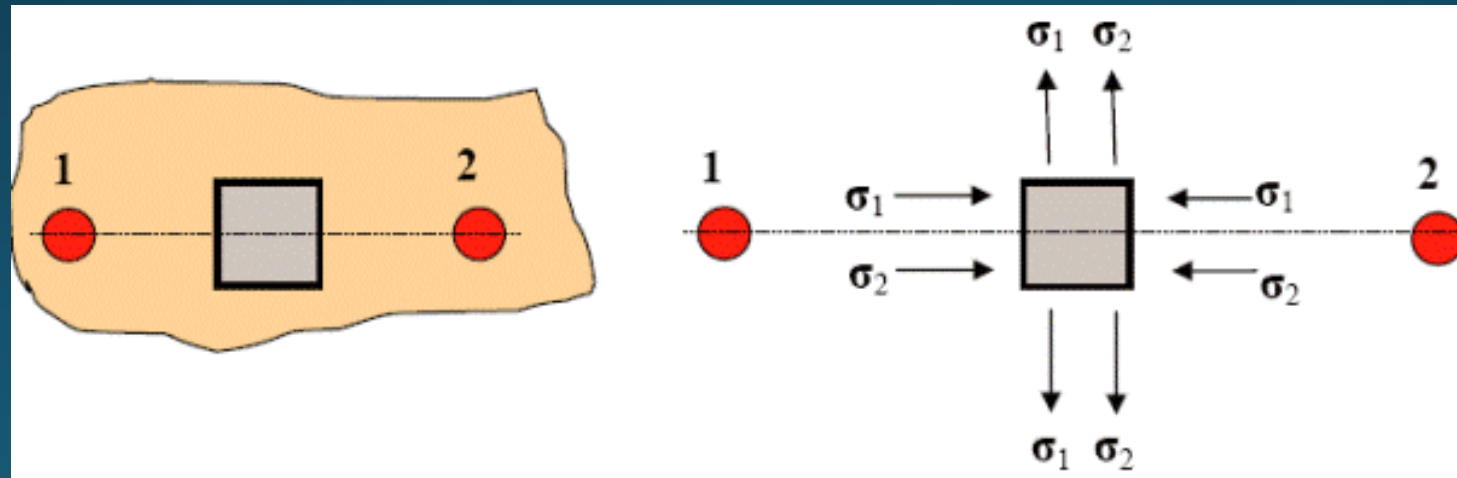


Схема дробления взрывом составных образцов:
а — до взрыва; б — после взрыва

Процесс разрушения пород при одновременном взрывании нескольких зарядов.

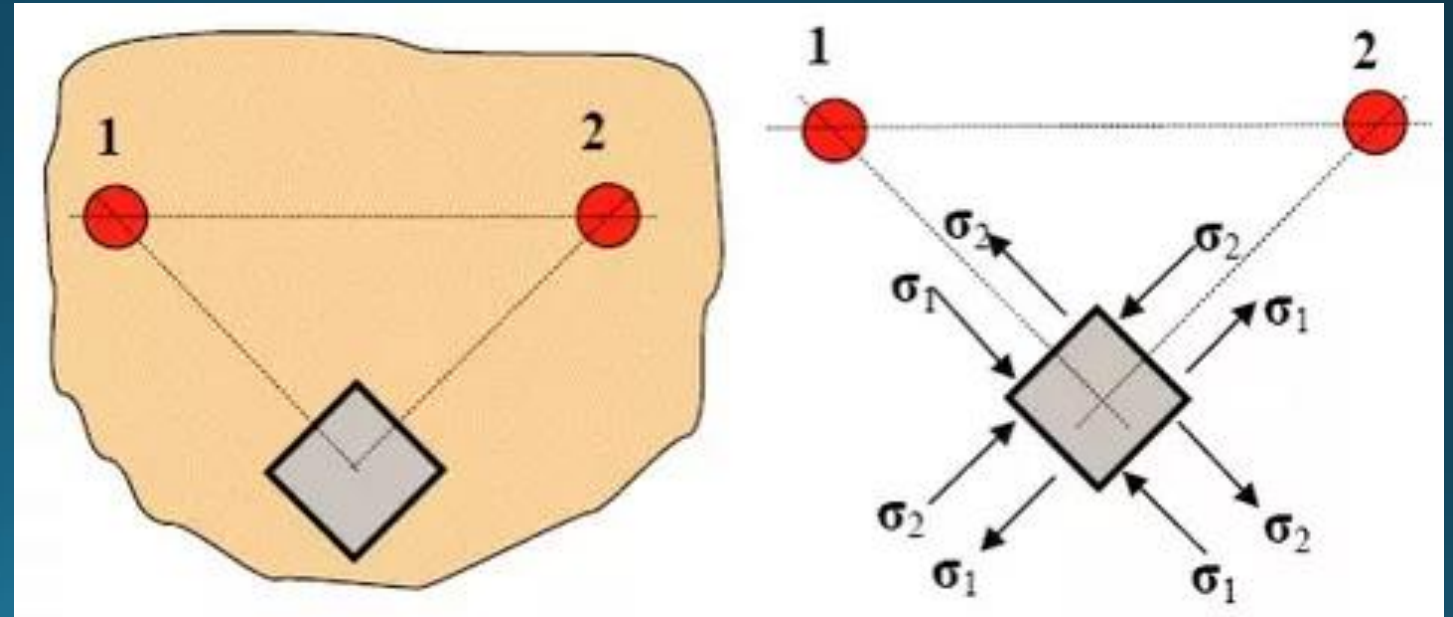
Исследования показали, что до встречи полей напряжений соседних зарядов среда у каждого ведет себя как при взрыве **одиночного заряда**, а затем возникает **сложная картина интерференции волн напряжений** с заметной **разницей в интенсивности дробления** среды по линии, соединяющей заряды, и в направлении ЛНС.

При **встрече волн напряжений** от соседних зарядов в направлении, **перпендикулярном** линии между зарядами действуют увеличенные, по сравнению с одиночным взрыванием, **растягивающие напряжения**. Это вызывает усиление действия взрыва с **образованием магистральной трещины** по линии расположения зарядов без интенсивного дробления породы вокруг нее, особенно при небольшом коэффициенте сближения m (отношении расстояния между зарядами к ЛНС или ЛСПП). Радиус разрушения отдельностей по линии заряда возрастает почти вдвое. Этот эффект используют в контурном взрывании



В определенных объемах породы, расположенных **между скважинами и открытой поверхностью** в глубине взрываеваемого массива, имеются зоны, где происходит **взаимная компенсация напряжений от взрыва соседних зарядов** и общее ослабление напряженного состояния по сравнению с одиночным взрыванием. В этих зонах порода подвергается **наименьшему дроблению**. Минимальный объем этих зон получается при $m > 1$, поэтому для уменьшения размеров этих зон следует увеличивать сближение более 2 и применять разновременное взрывание соседних зарядов. При одновременном взрывании удлиненных зарядов 1 и 2 будут суммироваться сжимающие радиальные напряжения и растягивающие азимутальные. В точке, находящейся на пересечении радиусов, направленных под углом 45° к плоскости зарядов, напряжение будет равно нулю.

Расчетами установлено, что взаимодействие двух удлиненных зарядов имеет место при расстояниях до 2,8 радиуса регулируемого дробления, поэтому для контурного взрывания принимают 2,8, а для дробления пород принимают расстояние между зарядами $> 3 r_0$.



Короткозамедленное взрывание зарядов.

Короткозамедленным называют последовательное взрывание серий или отдельных зарядов с интервалами в **тысячные доли секунды**. Впервые КЗВ было применено в 1934-35 гг. инженером К.А. Берлиным при проходке вертикального ствола для получения в центре забоя конусообразного навала породы. С 50-х годов метод начали применять для снижения сейсмического действия взрыва и улучшения качества дробления пород.

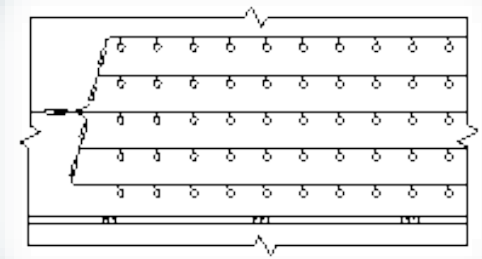
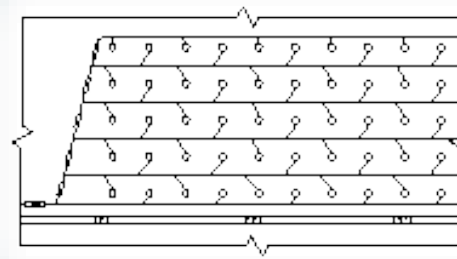
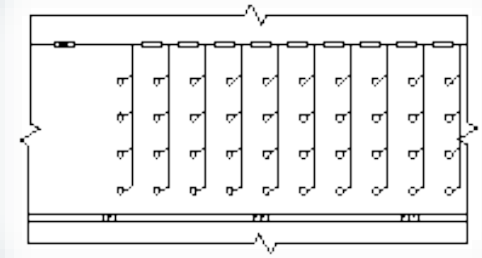
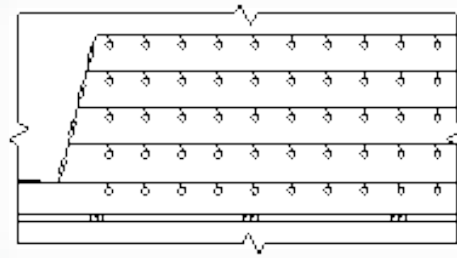
Основными **параметрами**, определяющими **эффективность КЗВ**, являются **интервал замедления** и **последовательность разрушения** участков массива и их движения (соударения) в процессе разлета горной массы.

Факторы эффективности КЗВ, которые следует рассматривать как составные части единого процесса взаимодействия зарядов:

- **интерференция волн напряжений** от соседних зарядов (при интервалах замедлений до 5 мс);
- **образование дополнительных открытых поверхностей** (при замедлениях 15-200 мс);
- **соударение разлетающихся кусков** при взрыве соседних зарядов (при замедлениях более 200 мс).

Схемы короткозамедленного взрывания

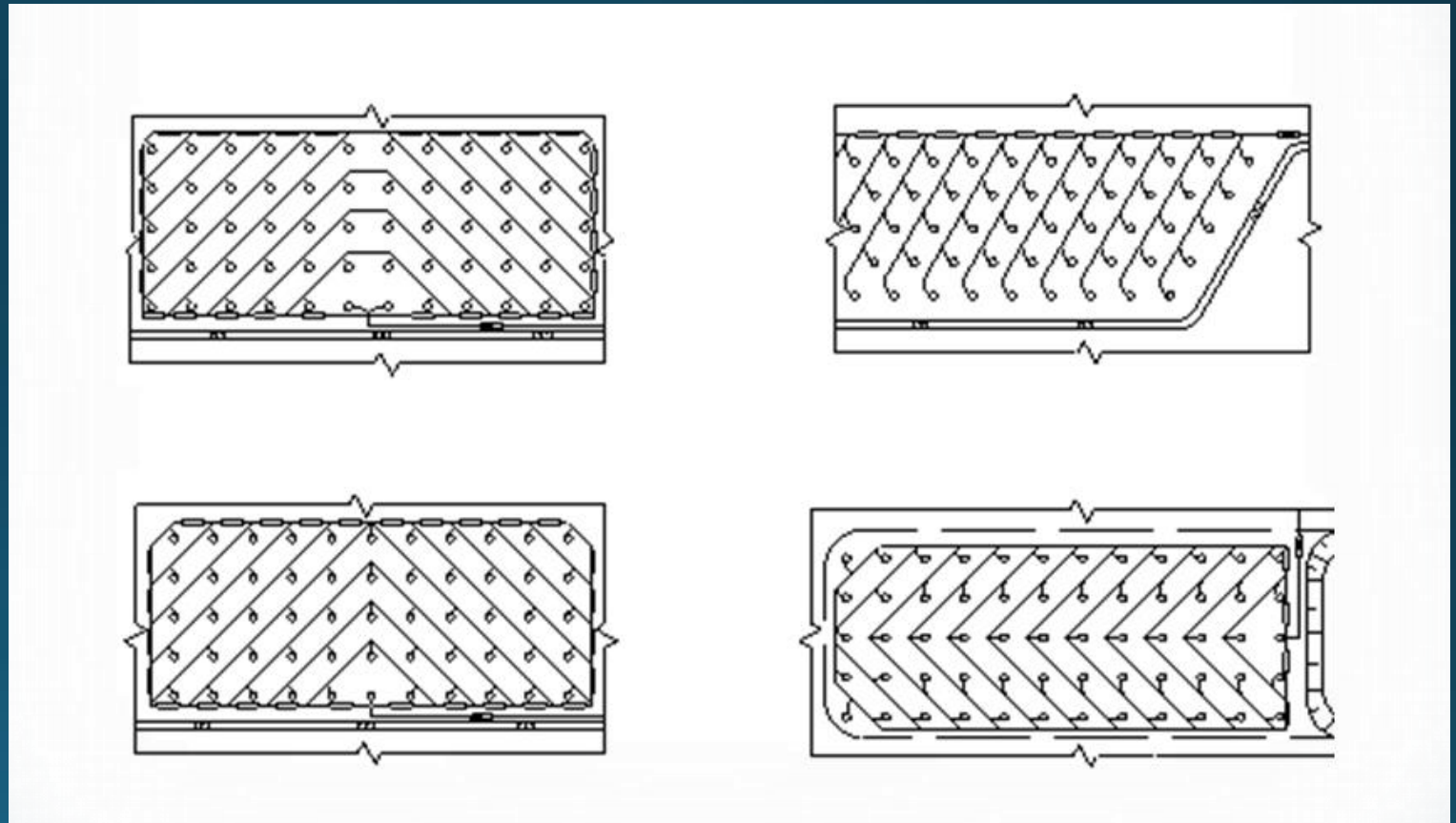
Порядные схемы имеют интервалы замедления между смежными рядами $\tau = 25—75$ мс. При $\tau < 25$ мс затрудняется проработка подошвы и наблюдаются выбросы породы на верхнюю площадку уступа. Схемы просты и целесообразны при взрывании хрупких пород (известняки, доломиты), мелкотрещиноватых, слабых (аргиллиты, алевролиты) и пр., при завышенных величинах W и b , а также взрывании полезного ископаемого без переизмельчения.

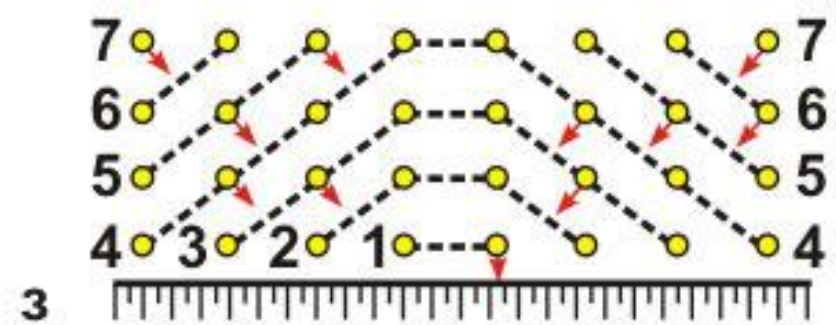
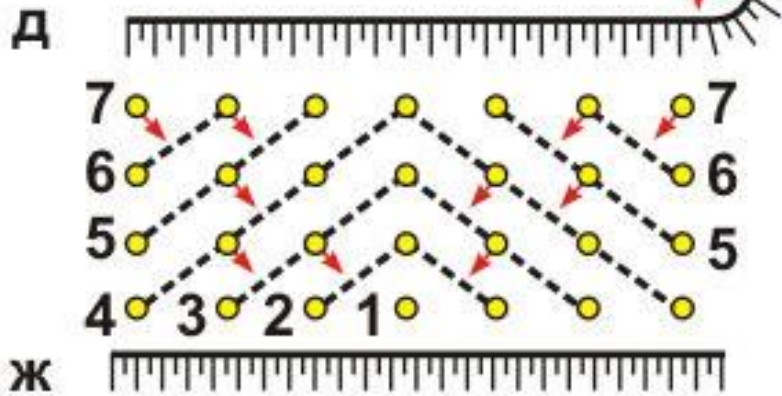
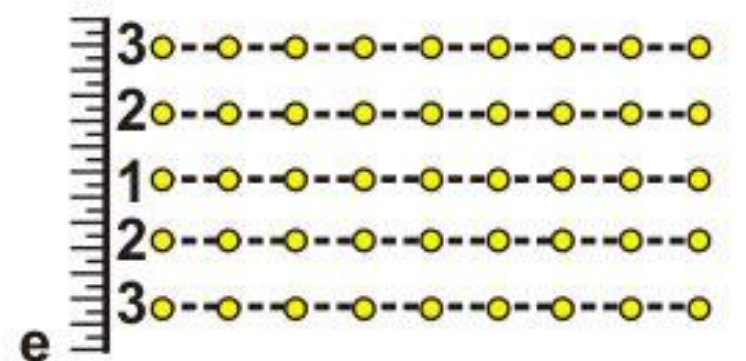
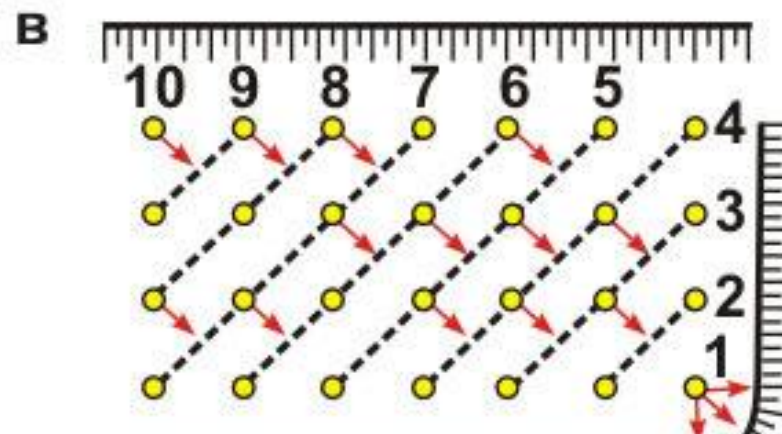
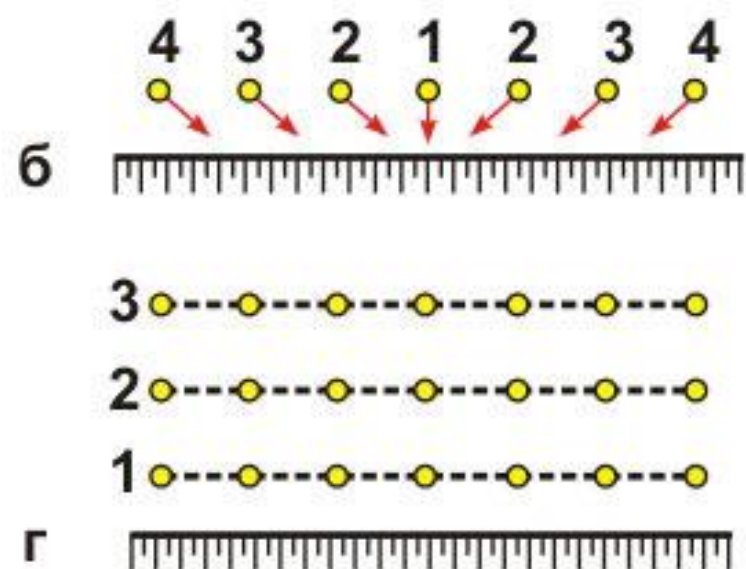
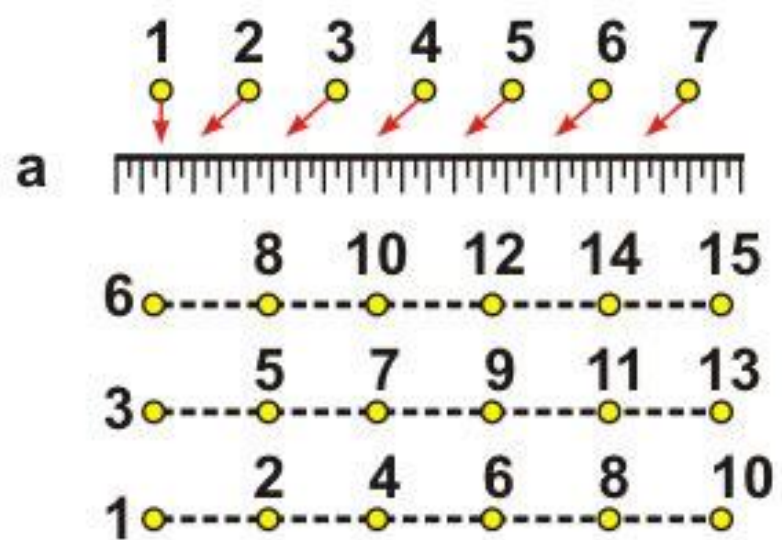


Врубовые схемы более совершенны, так как ведут к образованию дополнительных открытых поверхностей, в ряде случаев — к дополнительному соударению разлетающихся кусков и направленному формированию развала. **Схемы с продольным врубом** широко применяются при проведении траншей, а также на уступах для уменьшения ширины развала, что достигается удалением врубового ряда от их верхней бровки. Перебур скважин врубового ряда на 1—2 м больше. Схемы обеспечивают качественное дробление, но характеризуются выбросом породы в сторону массива, недостаточной проработкой подошвы и увеличением сейсмического действия взрыва.

Схемы с поперечным (торцовым) врубом обеспечивают сокращение ширины развала на 20—30 % за счет направления действия взрыва в сторону торца уступа, а также встречное движение и соударение породных кусков при взрыве. Последние схемы применяют в трудно- и весьма трудно взрываемых породах.

Диагональные схемы, особенно пологие, позволяют резко уменьшить фактическую величину линии наименьшего сопротивления зарядов смежных рядов скважин и соответственно улучшить дробление.





Результаты взрывов при дроблении горных пород должны удовлетворять следующим требованиям

- Порода при взрыве должна быть раздроблена на куски, не превышающие **определенного размера по крупности**, а **выход негабаритных кусков** и мелочи должен быть **минимальным ($\leq 5\%$)**. Наличие во взорванной горной массе большого количества негабарита (более 10 %) в 1,5-2 раза снижает производительность погрузочно-транспортного оборудования и снижает срок его службы, а вторичное дробление негабаритов нарушает режим работы карьера.
- После взрыва на земной поверхности **не должно быть завывшения подошвы уступа** (порогов), а также **заколов** за последний ряд скважин. **Выброс породы** за линию скважин на верхнюю бровку уступа должен быть **минимальным**.
- **Развал** взорванной породы должен быть **заданной ширины и высоты**, обеспечивающих высокопроизводительную и безопасную работу экскаваторов.
- **Запас** взорванной горной массы в забое должен обеспечивать бесперебойную и высокопроизводительную работу погрузочно-транспортного оборудования.
- **Схема взрывной цепи и конструкция заряда** должны обеспечивать **полноту детонации** всей заряженной массы ВВ в наиболее благоприятном для разрушения массива режиме.
- При взрыве **не должно** происходить не предусмотренных проектом **разрушений или повреждений** окружающих объектов сейсмическим действием, воздушными ударными волнами, разлетающимися кусками породы.

Необходимое дробление породы обеспечивают выбором правильного метода ведения взрывных работ для конкретных условий, а также правильным сочетанием и использованием факторов, влияющих на степень дробления породы (удельный расход ВВ, параметры заряда, схема взрывания и т.п.).

РЕГУЛИРОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДРОБЛЕНИЯ ПОРОД ВЗРЫВОМ

Известные в настоящее время **способы управления дроблением** горных пород можно классифицировать **по нескольким признакам**:

- ▶ Регулирование воздействия на массив взрыва отдельного заряда,
- ▶ Регулирование воздействия на массив взрыва группы зарядов в зоне практически нерегулируемого дробления.

Параметры регулирования дробления можно также разделить на **два класса**:

- **первый**, к которому относят параметры, позволяющие получить **дробление любой требуемой интенсивности** (расчетный удельный расход ВВ, диаметр и сетка расположения скважин, применение технологии локализованного послойного взрывания горизонтальных скважинных зарядов уменьшенного диаметра);

- **второй**, к которому относят параметры, позволяющие **изменить интенсивность дробления в ограниченных пределах** и не позволяют исключить выход крупной негабаритной фракции породы (все остальные параметры).



Регулирование воздействия на массив взрыва отдельного заряда, обеспечивается за счет изменения:

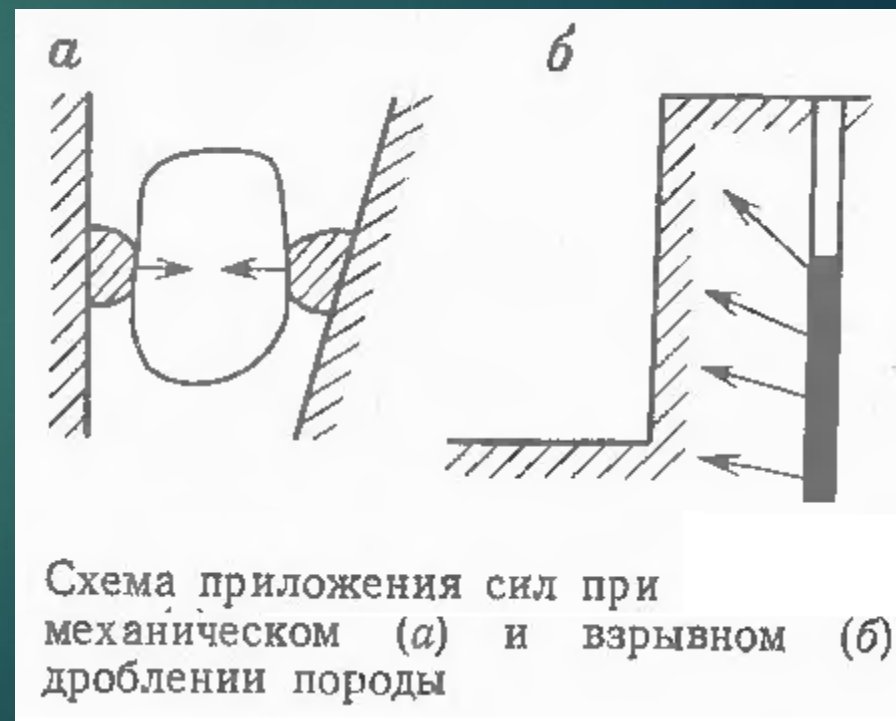
- ▶ **расчетного удельного расхода ВВ** (можно увеличить или уменьшить массу заряда ВВ);
- ▶ **диаметра заряда** (также можно изменить массу заряда ВВ и уменьшить или увеличить объем взрываемой зарядом породы);
- ▶ **типа применяемого ВВ** - изменяется энергия заряда, скорость детонации (значит доля бризантного действия, влияющая на размер зоны переизмельчения), плотность заряжания;
- ▶ **конструкции заряда ВВ** - рассредоточенным зарядом уменьшается зона нерегулируемого дробления, повышается качество дробления при использовании воздушных промежутков, снижается расход ВВ;
- ▶ **направления инициирования заряда** - при инициировании заряда снизу улучшается качество дробления за счет более равномерного воздействия фронта волны напряжений на массив и увеличения времени воздействия на массив, при разнонаправленном инициировании интерференция волн напряжения повышает дробление;
- ▶ **порядка инициирования частей рассредоточенного заряда**;
- ▶ **качества и длины забойки** - чем качественнее забойка, тем дольше она удерживает продукты детонации в зарядной полости и повышает их воздействие на массив, снижает разлет кусков горной массы и ударную воздушную волну, качество дробления растет на 10-30 %;

Расчетный расход ВВ

Для разрушения определенного объема породы до определенной крупности требуется затратить определенное количество энергии. С увеличением степени дробления удельный расход энергии (энергоёмкость) увеличивается.

Эта фундаментальная зависимость дробления справедлива и для взрывного дробления, но здесь имеется ряд отличительных особенностей: механическое дробление имеет двухстороннюю схему приложения сил, а взрывное – одностороннюю (кроме взрывания в зажатой среде и дробления негабарита накладным зарядом).

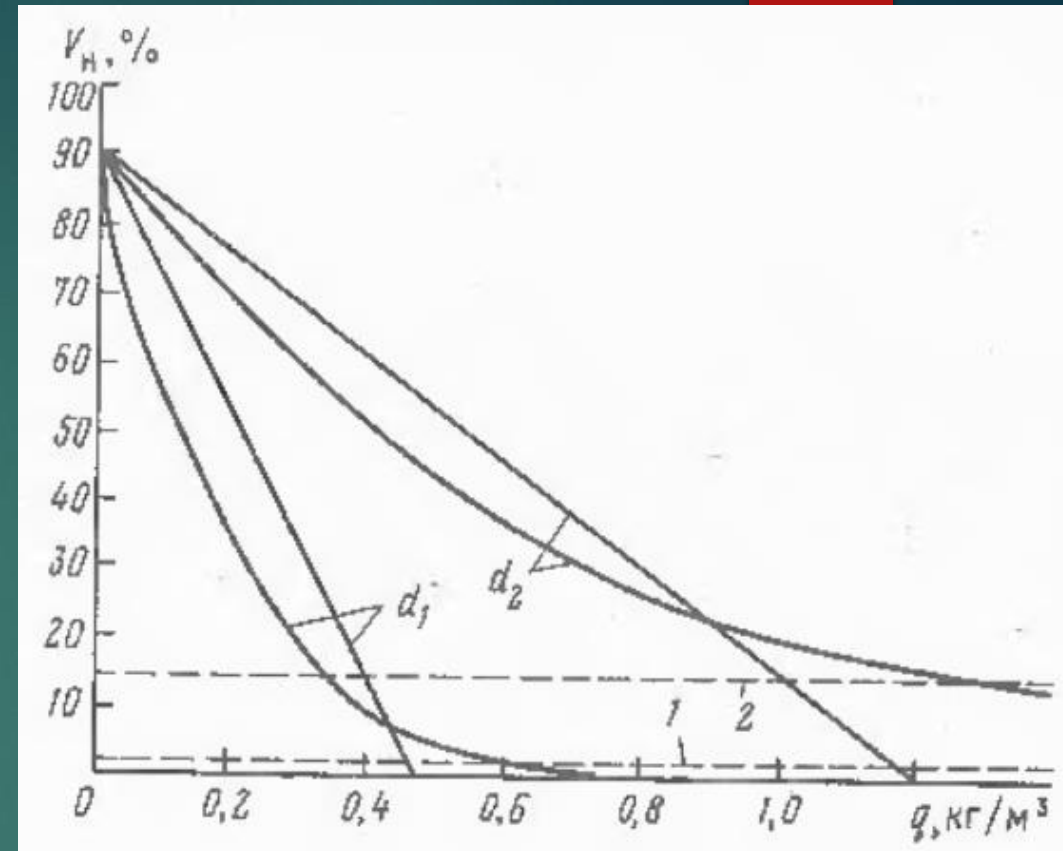
При механическом дроблении имеют дело с отдельными кусками породы, а при взрывном – с трещиноватым массивом пород значительных размеров. Трещины и неоднородности при механическом дроблении облегчают дробление крупных кусков и уменьшают удельную энергоёмкость. При взрыве трещины экранируют распространение энергии и, наоборот, требуют увеличения удельного расхода ВВ для достижения требуемого дробления.



При увеличении удельного расхода ВВ сначала происходит более интенсивное увеличение степени дробления массива, а затем наступает так называемое состояние насыщения массива энергией взрыва, когда он не может поглотить большего количества энергии, и она расходуется бесполезно на повышенный разброс породы. При меньшем диаметре заряда ($d_3 < 150$ мм) в некоторых случаях можно достигнуть нулевого выхода негабаритных фракций, а при большом диаметре заряда ($d_3 > 250$ мм) при любом расходе ВВ не удастся получить нулевой выход негабарита – будет существовать минимальное его значение из зоны нерегулируемого дробления.

Выбор рационального расхода ВВ – это технико-экономическая задача, решаемая на основе подсчета конечной стоимости добычи полезного ископаемого по всем процессам. Однако, в большинстве случаев следует стремиться к получению при взрыве близкого к нулю выхода негабарита.

Для современных карьеров характерна тенденция к увеличению удельных расходов ВВ с 0,4-0,5 до 0,7-0,9 кг/м³, ибо это в конечном счете позволяет улучшить дробление, повысить показатели работы погрузочно-транспортного оборудования и предприятия в целом.



Диаметр заряда, линия наименьшего сопротивления и сетка расположения зарядов.

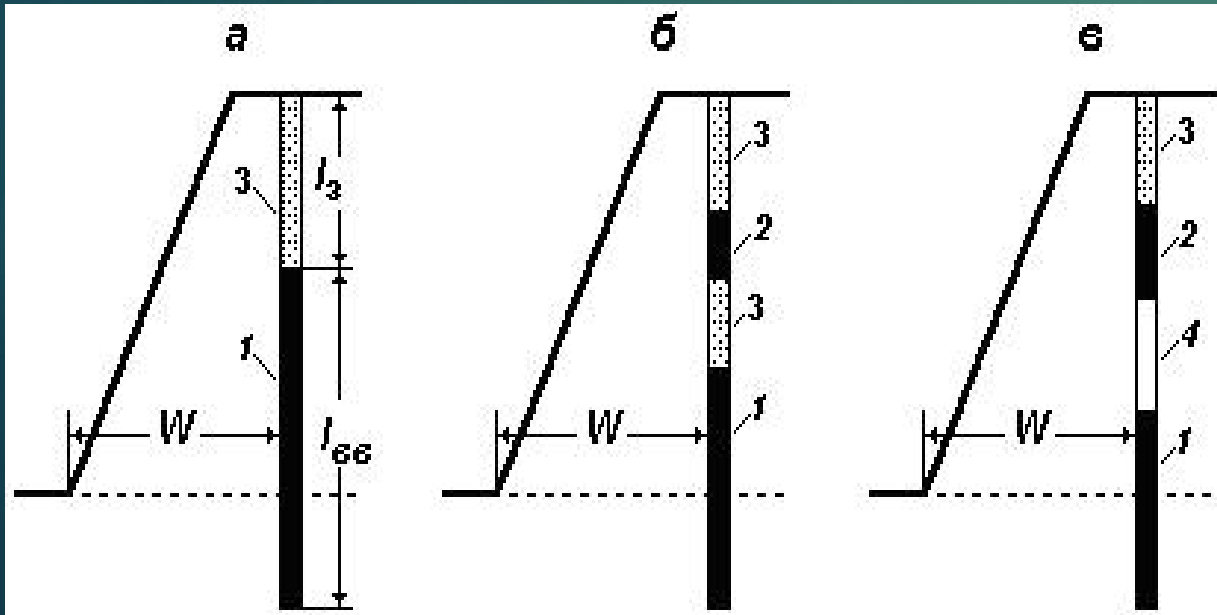
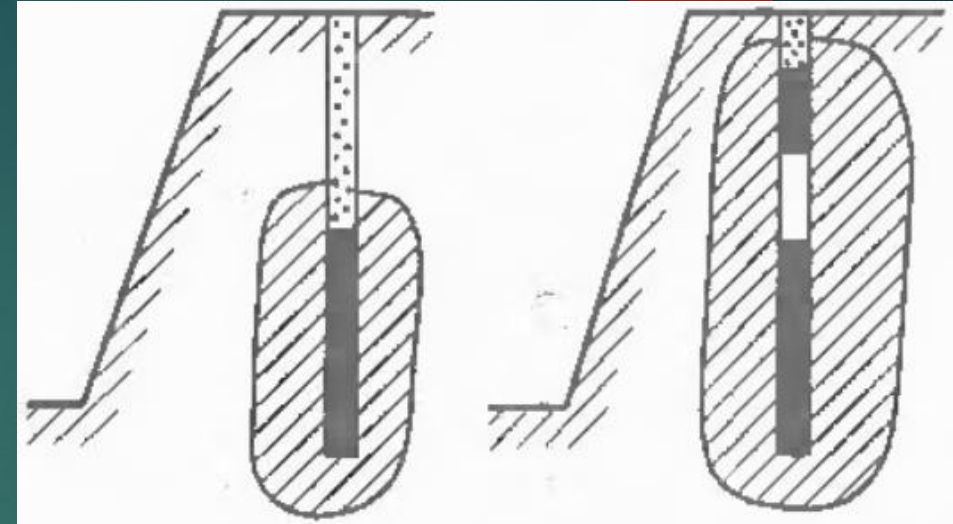
Практикой работ установлено, что для каждой категории пород существует линейная зависимость вида $W = kd_3$, угол наклона которой с ростом крепости пород уменьшается.

С увеличением диаметра заряда d_3 выход крупных фракций при взрыве увеличивается потому, что с увеличением ЛНС все больший процент отдельностей массива при взрыве попадает в зону практически нерегулируемого дробления. Уменьшив d_3 , можно достигнуть положения, при котором все отдельности попадают в зону регулируемого дробления. Поэтому d_3 относится к одному из наиболее мощных параметров регулирования степени дробления. При меньших d_3 , кроме того, уменьшается относительный объем переизмельчения породы вокруг заряда, происходит распространение энергии по массиву с меньшим затуханием и снижается заколообразование в глубь массива.



Конструкция зарядов

Существенное влияние на степень дробления горной массы оказывает **конструкция заряда**. При равном выходе горной массы с 1 м скважины и удельном расходе ВВ **рассредоточение заряда** приводит к **улучшению дробления** за счет увеличения зоны **регулируемого дробления** по сравнению со **сплошным зарядом**.



Рассредоточение заряда **целесообразно** только в том случае, когда емкость скважины используется не полностью, т.е. оно рационально в том случае, если по каким-либо причинам в **однородных породах** применяют **сближенную сетку** расположения зарядов и **сплошной заряд** занимает незначительную часть скважины (менее 0,5 длины).

По данным акад. Н.В. Мельникова и д.т.н. Л.Н. Марченко рассредоточение скважинных зарядов воздушными промежутками улучшает дробление породы и изменяет характер действия взрыва в породе. При взрыве сплошного заряда происходит переизмельчение породы в ближней зоне за счет высокого давления газообразных продуктов в зарядной камере, в дальнюю зону передается меньшее количество энергии взрыва из-за чего порода в ней дробится на более крупные куски. Воздушные промежутки уменьшают плотность заряда и значительно снижают пиковое давление взрыва на границе заряд-порода, что сокращает переизмельчение породы около заряда и увеличивает время активного воздействия заряда на среду.

При этом газы верхнего заряда запирают газообразные продукты взрыва нижнего заряда, увеличивая время его действия на массив. В результате такого изменения параметров взрывного импульса (произведения давления на время его действия) доля энергии на местное переизмельчение уменьшается, повышая коэффициент использования энергии на дробление в дальней зоне.

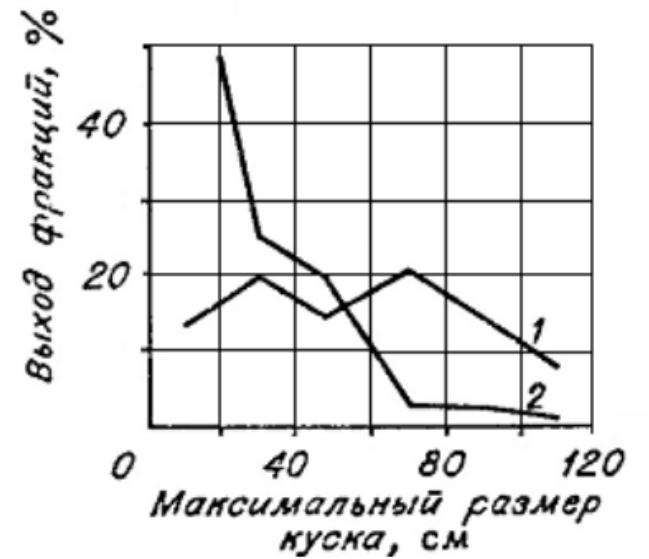
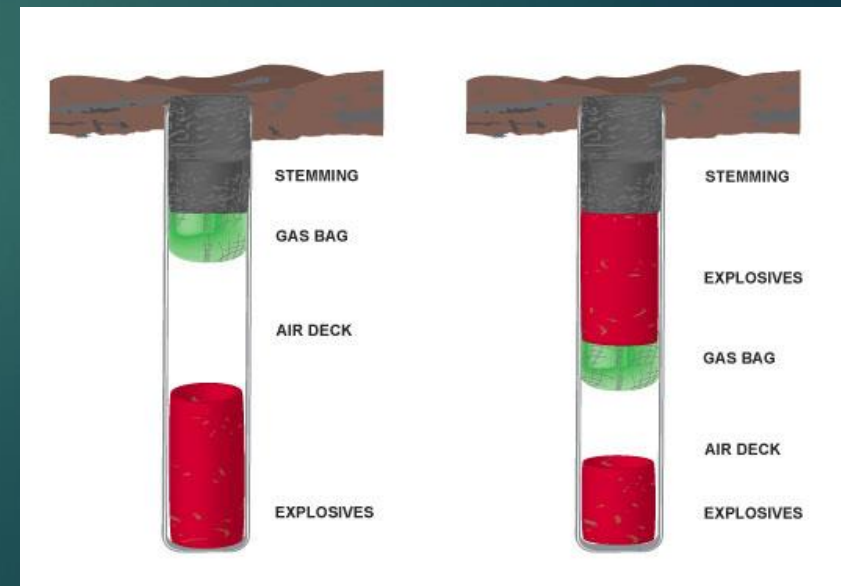


Рис. 1.1. Зависимость гранулометрического состава известняков от конструкции заряда скважин:
1 – заряды, рассредоточенные инертным материалом;
2 – заряды с воздушными промежутками



Влияние забойки и направления и инициирования зарядов

Устья скважин, оставшиеся свободными после размещения зарядов, заполняют забоечным материалом: глиной, песком, мелкой породой, буровой мелочью и т.п. Забойка положительно влияет на эффективность взрыва за счет следующих факторов: уменьшает потери энергии в процессе детонации заряда и обеспечивает более полное протекание реакции взрыва; увеличивает длительность воздействия газов взрыва на стенки зарядной полости, что увеличивает интенсивность дробления породы; уменьшает силу воздействия ударной воздушной волны и разброс кусков породы. Применение качественной забойки обеспечивает увеличение эффективности взрывания на 10-15 %. Наиболее эффективна забойка из мелко раздробленной породы, оказывающая наибольшее сопротивление газам взрыва.

Если забойку удержать от вылета до прорастания трещин к свободной поверхности, это позволяет сохранить давление продуктов детонации в зарядной полости, увеличив тем самым продолжительность воздействия взрыва на среду в 6-7 раз, снизить удельный расход ВВ на 30 %, повысить к.п.д. взрыва и добиться улучшения качества дробления. Поэтому минимальную длину забойки принимают 15-20 диаметров заряда. В разрабатываемой в ИГД ДВО РАН технологии локализованного взрывания горизонтальными слоями вертикальный щит мобильного укрытия полностью исключает вылет забойки из скважин, позволяя максимально использовать эффект запирания газов на дробление.

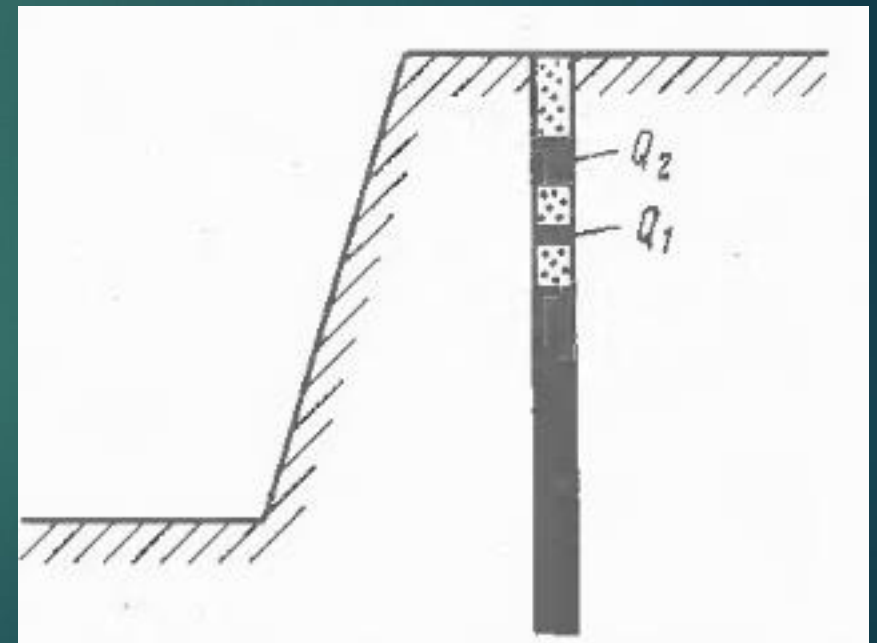


Рис. 10.21. Схема скважины с запирающими зарядами

Проведены опытные взрывы с использованием гидрогелевых ампул в качестве забойки, получен положительный эффект по дроблению и снижению пылевых выбросов.

Существенное влияние на качество дробления оказывает направление инициирования – если произвести его снизу, проработка подошвы и степень дробления улучшаются за счет увеличения продолжительности разрушения массива. По данным проф. В.Н. Мосинца, перспективно применять инициирование заряда снизу (обратное), если скорость детонации выше скорости распространения продольной волны в массиве в 1,6 раза и более.

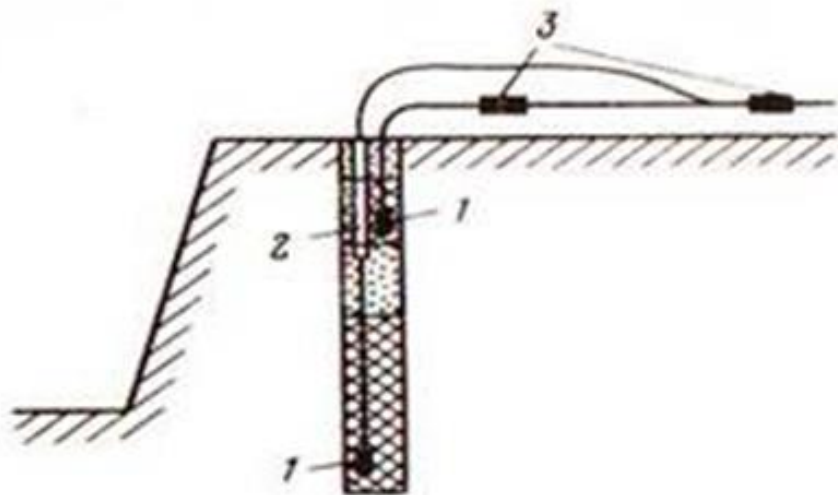


Рис. 10.19. Схема разновременного инициирования частей рассредоточенного заряда в скважине:

1 — боевики; 2 — полихлорвиниловый шланг; 3 — КЗДШ

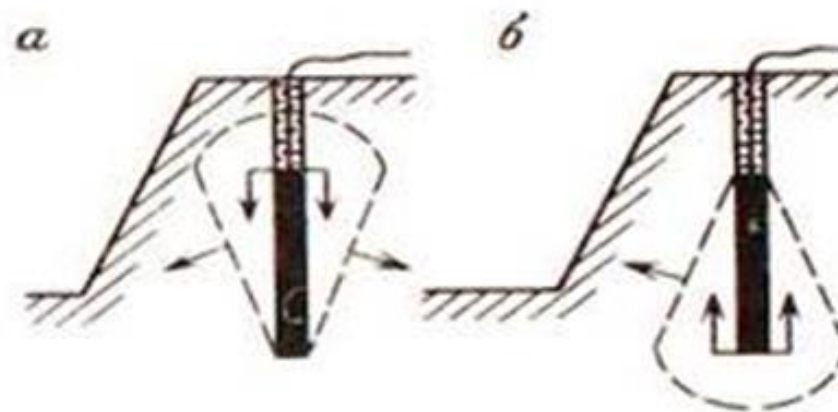


Рис. 10.20. Схема изменения напряженного состояния массива в зависимости от направления инициирования зарядов

МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ОГР

Название метода взрывных работ определяется выработкой или системой выработок, сооруженных для размещения и производства взрывов зарядов промышленных ВВ.

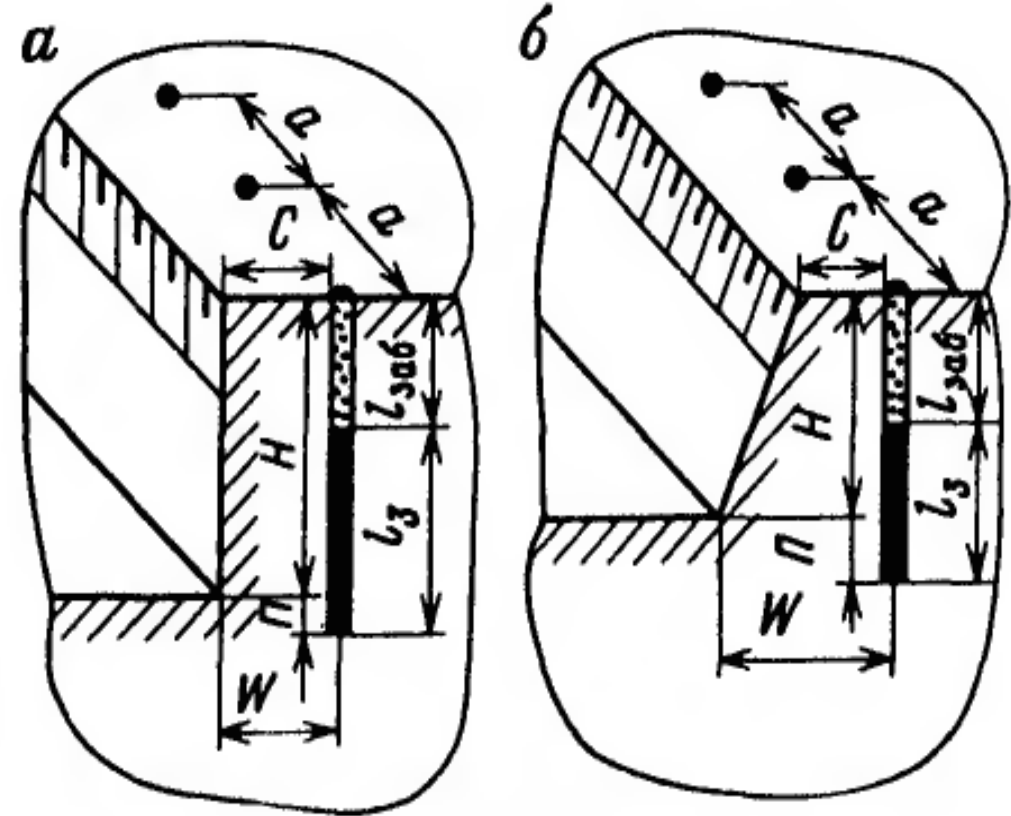
В настоящее время на карьерах применяются **следующие методы ведения взрывных работ:**

- **Метод скважинных зарядов**, когда для разрушения массива применяют вертикальные и наклонные скважины **диаметром 100—300 мм**, расширяемые в заряжаемой части на некоторых железорудных карьерах огневым способом, до 400—500 мм, **глубиной от 5 до 20 м** и более. Это **основной метод** взрывания на карьерах.
- **Метод шпуровых зарядов**, когда для взрывания применяют вертикальные, наклонные или горизонтальные шпуры **диаметром до 75 мм и глубиной до 5 м**. Этот метод взрывания применяют на карьерах малой мощности, добыче блоков, а на крупных— для **вспомогательных работ** (дробление негабарита, подработка завывшений подошвы уступов и т. д.).
- **Метод котловых зарядов**, когда для размещения в нижней части увеличенного заряда ВВ шпуры и скважины предварительно простреливают небольшими зарядами (0,5—10,0 кг). Этот способ в основном применяется в трудновзрываемых породах с целью проработки подошвы уступа
- **Метод камерных зарядов**, когда сосредоточенные **заряды большой массы от нескольких до тысяч тонн** размещают в камерах. Метод применяется в основном **для взрывания на выброс и сброс** при строительстве плотин, дамб, каналов.
- **Методы контурного взрывания**

МЕТОДЫ ВЕДЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ШПУРОВЫМИ ЗАРЯДАМИ

На карьерах шпуровой метод применяют при **небольших объемах работ, раздельной (селективной) выемке** и малой мощности месторождения полезного ископаемого, **добыче крупных блоков** строительного и отделочного камня, разработке **ценных полезных ископаемых** в тех случаях, когда необходимо сохранить структуру ископаемого или не допустить излишнего его измельчения, для **дробления негабаритов и рыхления мерзлоты**. Вертикальные, наклонные или горизонтальные (слабонаклонные) шпуры диаметром от 32 до 70 мм и глубиной до 3—5 м на карьерах бурят ручными или установленными на легких каретках бурильными молотками.

Для лучшего отрыва породы шпуры бурят с перебуром, составляющим 10—15% высоты уступа. Если в подошве уступа залегают более слабые породы, то шпуры бурят на глубину, равную высоте уступа. При наличии в подошве уступа глинистых или слабых прослоев шпуры недобуривают до этого слоя на 15—20 см.



Основные параметры расположения зарядов

Сопротивление по подошве:

$$W = 0,95 * \sqrt{\frac{p}{q \cdot m}}$$

Расстояние между шпурами

$$a = (0,8 \dots 1,3) \cdot W$$

Масса шпурового заряда определяется по формуле

$$Q = q \cdot a \cdot H \cdot W$$

где q — расчетный удельный расход ВВ, кг/м³; H — высота уступа, м; W — сопротивление по подошве, м.

Для интенсивного дробления пород и хорошей проработки подошвы уступа значения W не должны превышать 20—25 диаметров заряда для крепких пород и 25—35 диаметров заряда для пород средней крепости.

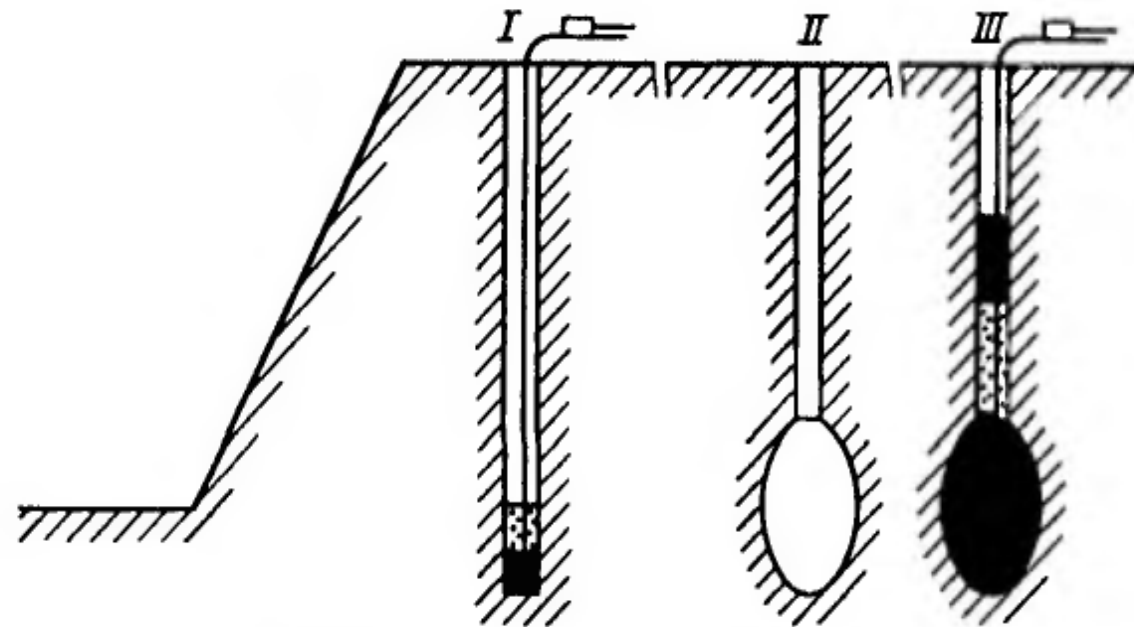
Достоинства метода шпуровых зарядов: равномерное и мелкое дробление взрывааемых пород, возможность применения в любых горно-геологических условиях, простота;

Недостатки: большой объём бурения, высокая стоимость работ, необходимость заряжания и взрывания большого числа шпуров, сложность организации работ при необходимости отбойки значительных объемов породы.

МЕТОДЫ ВЗРЫВАНИЯ КОТЛОВЫМИ ЗАРЯДАМИ

При методе котловых зарядов на забое (дне) шпура или скважины взрывают небольшие заряды ВВ, в результате чего их нижняя часть разрушается и образуется **эллипсоидная камера**. В эту камеру после ее охлаждения в течение не менее 15 мин помещают значительно больший заряд ВВ.

Полученное на дне шпура скважины расширение называют **котлом**, а помещенный в нее заряд ВВ — **котловым зарядом**. **Объем котла должен соответствовать массе заряда, намечаемого по расчету**. Метод котловых зарядов применяют для одиночного и серийного взрывания, преимущественно при разработке трещиноватых достаточно устойчивых пород, допускающих возможность взрывного образования котловых расширений.



Последовательность операций при котловом взрывании:

I — размещение прострелочного заряда; *II* — готовая котловая скважина; *III* — комбинированный заряд: удлиненный заряд в верхней части скважины, котловой — в нижней части

МЕТОДЫ КАМЕРНЫХ ЗАРЯДОВ

Применяется для производства взрывов на **выброс и сброс**.

Важным направлением использования взрывчатых веществ в народном хозяйстве являются **взрывные работы крупных масштабов**, основной задачей которых— **перемещение больших объемов горной породы** непосредственно самим действием взрыва без применения других средств транспорта и разработки породы.

В ряде случаев взрывные работы оказывается возможным организовать таким образом, что вся **разрабатываемая порода перемещается в заданном направлении и укладывается действием взрыва**. В этих случаях может быть достигнуто снижение затрат за счет существенного упрощения всей технологии работ.

Кроме того, обеспечивается, как правило, резкое **сокращение сроков работ** по сравнению с любым другим возможным способом решения подобных задач.

Взрыв на выброс

Взрыв производят для образования выемок заданного профиля взрыванием зарядов, рассчитанных на выброс породы.

Величина сосредоточенного заряда выброса определяется по формуле М.М. Борескова:

$$Q = q_H W^3 (0,4 + 0,6n^3), \text{ кг}$$

где q_H — расчетный удельный расход ВВ для нормальной воронки, кг/м³;

W — линия наименьшего сопротивления, м;

n — показатель действия взрыва;

При проектировании выемок, каналов, траншей заданного профиля показатель действия взрыва и, число рядов зарядов и расстояние между рядами определяют графически с таким расчетом, чтобы проектируемая воронка соответствовала заданному профилю выемки.

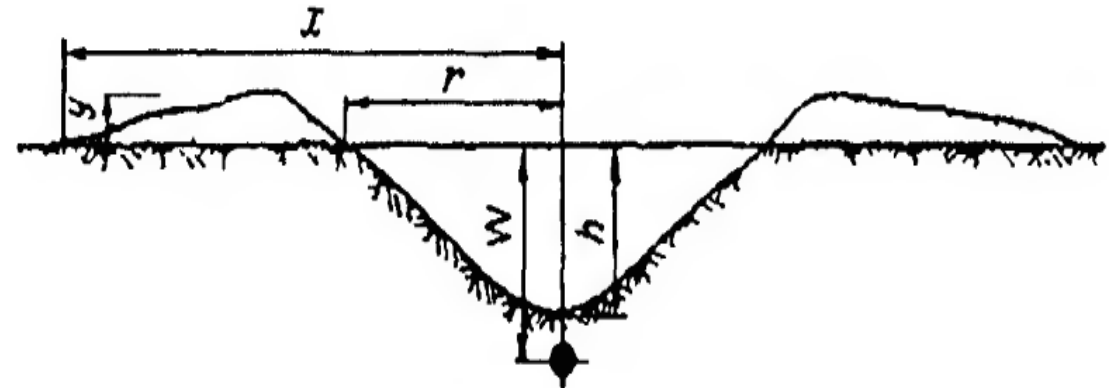
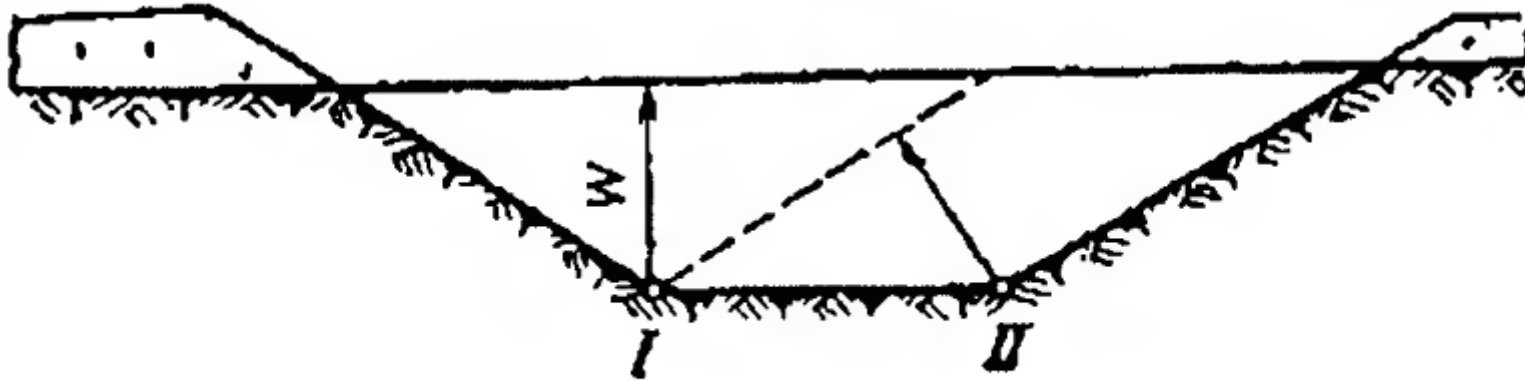


Схема действия заряда выброса

Направленный выброс грунта при горизонтальном рельефе местности осуществляют взрыванием не менее двух рядов зарядов. При этом показатель действия взрыва зарядов того ряда, который наиболее удален от направления выброса, должен быть больше на 0,5 показателя действия взрыва зарядов другого ряда.



Односторонний направленный выброс

Направленный выброс может быть **произведен путем разновременного взрыва рядов** зарядов, причем первыми взрывают заряды ближайшего ряда к направлению выброса. **Число рядов** для получения увеличенного выброса на одну сторону при горизонтальном рельефе рекомендуется принимать **не более трех**. Расстояние между рядами зарядов при направленном выбросе находят графически так, чтобы ЛНС каждого заряда, взрываемого с замедлением, была перпендикулярна открытой поверхности, образуемой зарядами, взрываемыми с опережением, а длина ее была не больше расстояния от центра заряда до открытой поверхности по вертикали.

Взрыв на сброс

Взрыв производят **при уклоне** поверхности взрываемого массива **более 20° к горизонту** для вскрытия или разработки полезных ископаемых, образования профильных выемок (дорог, специальных площадок), плотин, насыпей разного назначения и т. п. В зависимости от конфигурации взрываемого массива и требований, предъявляемых к взрыву (размеры выемок, угол образуемого откоса и т. п.), расположение зарядов может быть **однорядным, двухрядным и двухъярусным**. В отдельных случаях допускается многорядное и многоярусное расположение зарядов. Места заложения зарядов определяют графически таким образом, чтобы образующаяся выемка вписывалась в проектный контур.

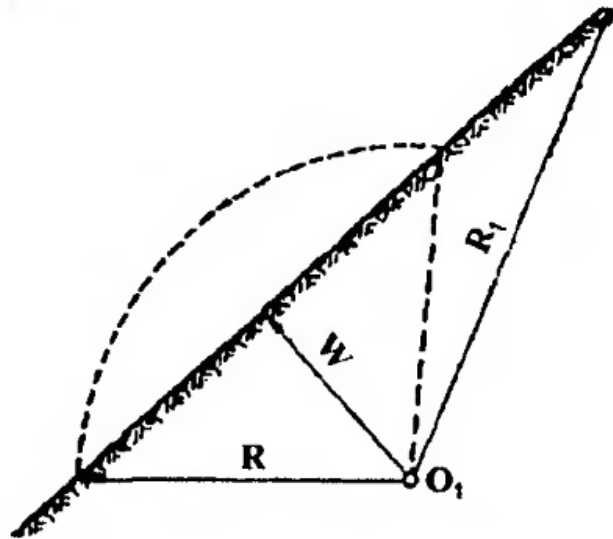


Схема однорядного расположения зарядов сброса

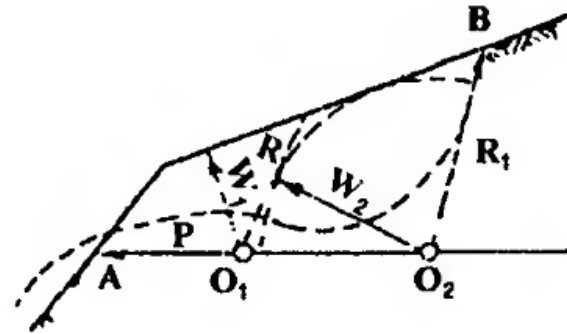


Схема двухрядного расположения зарядов сброса

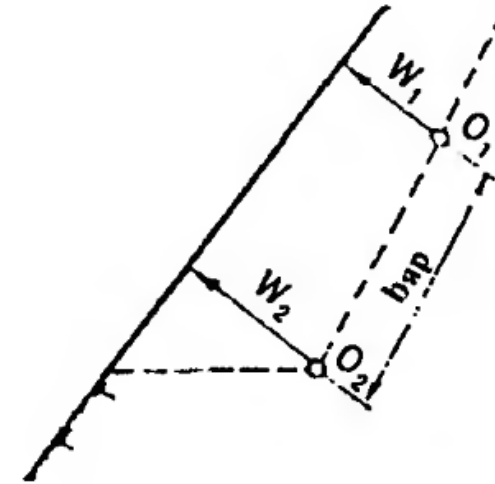
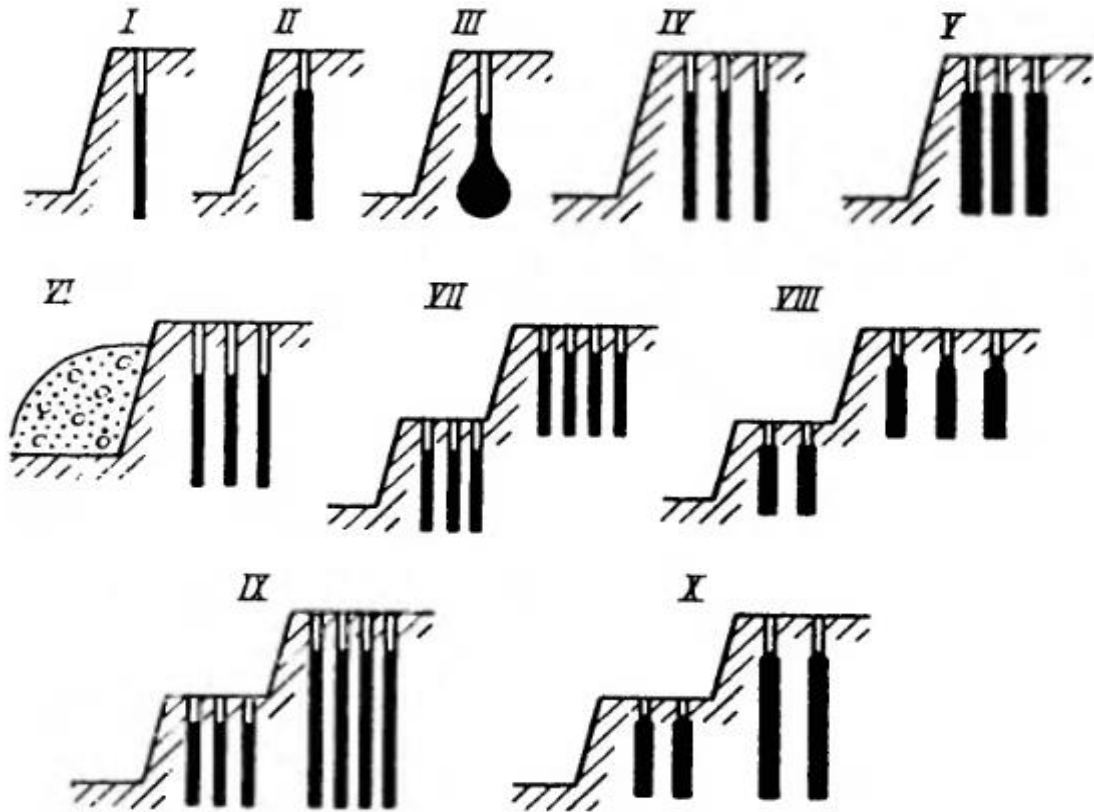


Схема двухъярусного расположения зарядов сброса

МЕТОД СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

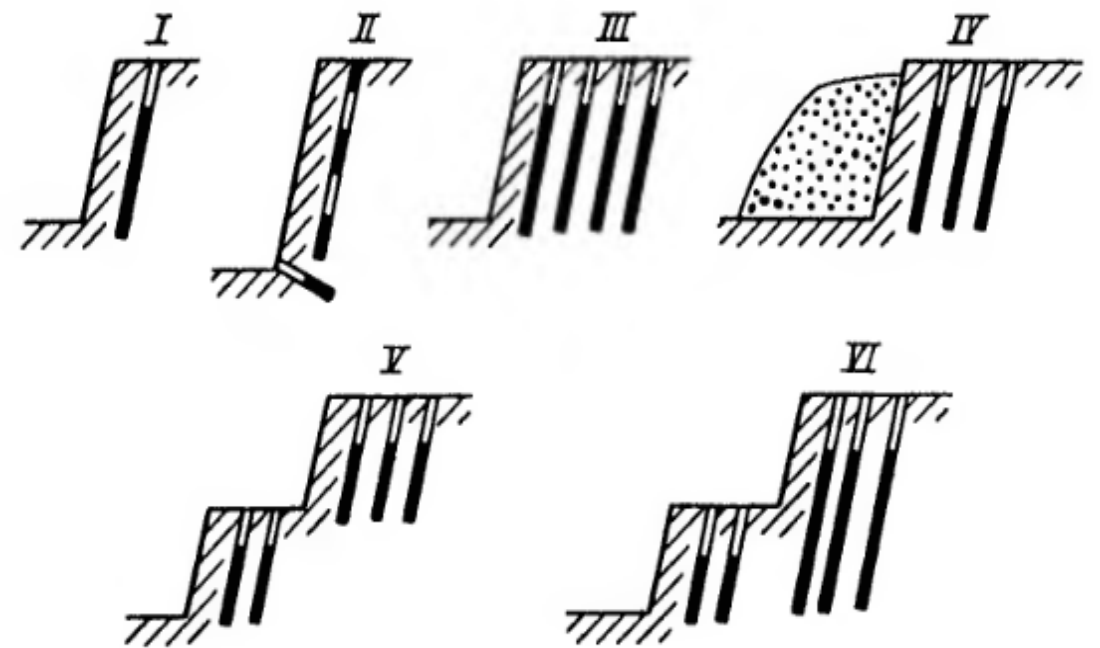
При методе скважинных зарядов во взрываемом массиве бурят вертикальные или наклонные скважины диаметром 80—320 мм, глубиной 5—20 м и более. В отдельных случаях для увеличения массы заряда заряжаемую часть скважины расширяют огневым способом до диаметра 400 мм и более.

На уступе скважины можно располагать в один ряд (однорядное взрывание), два и более рядов (многорядное взрывание).



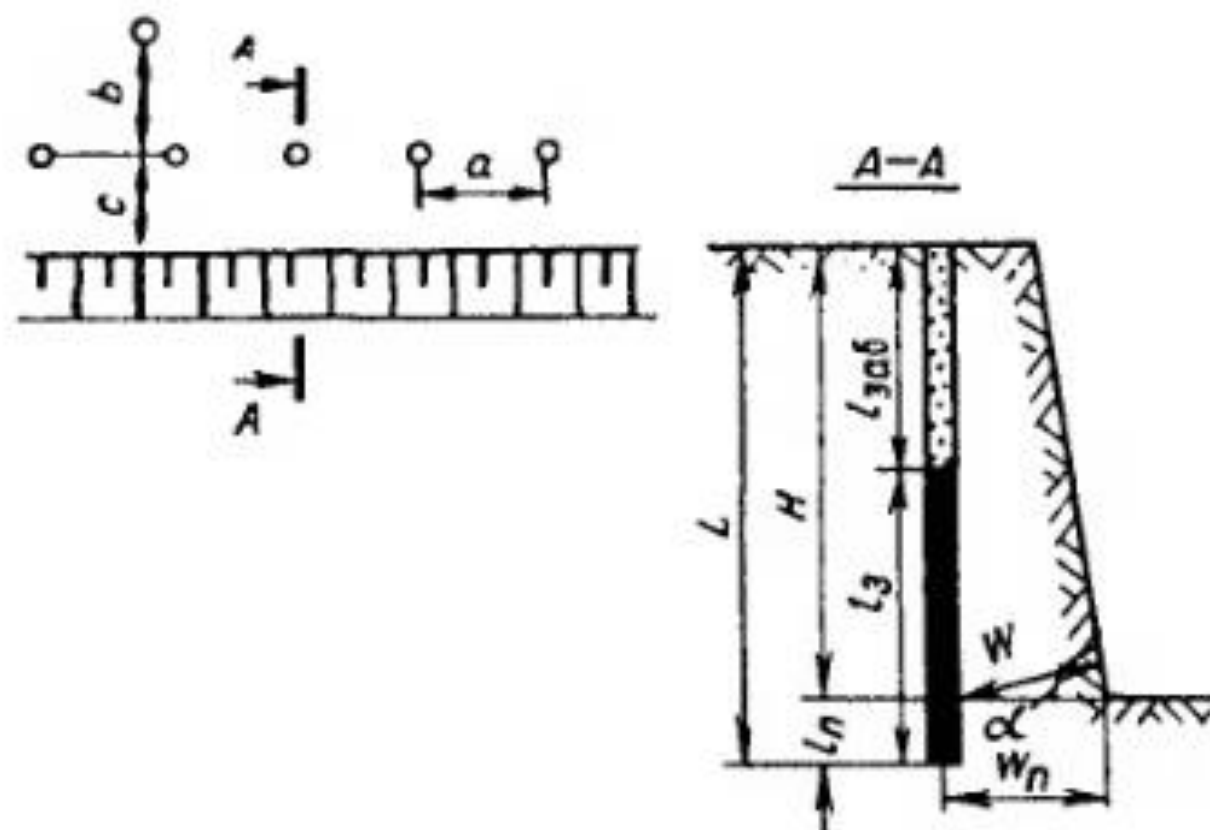
Основные схемы расположения вертикальных взрывных скважин на уступе:

I — однорядное; *II* — с механическим или огневым расширением; *III* — котловое; *IV* — многорядное; *V* — многорядное с расширением заряжаемой части; *VI* — многорядное с взрыванием на подпорную стенку; *VII* — каскадное; *VIII* — каскадное с расширением заряжаемой части; *IX, X* — многоуступное обычное и с расширением заряжаемой части



Основные схемы расположения наклонных взрывных скважин на уступе:

I, II — однорядное со сплошными и рассредоточенными зарядами; *III, IV* — многорядное на открытую поверхность уступа и на подпорную стенку; *V* — каскадное; *VI* — многоуступное



Схемы и элементы расположения скважин на уступе при взрывании на карьерах

Расположение скважин на уступах карьеров характеризуют следующими величинами (рис. 6.3): d — диаметр скважины (заряда), м; H — высота уступа, м; W — сопротивление по подошве (СПП), м; a — расстояние между скважинами, м; b — расстояние между рядами, м; c — безопасное расстояние от оси скважины до верхней бровки уступа, м; $l_{\text{зар}}$ — длина заряда, м; $l_{\text{п}}$ — длина перебура, м; $l_{\text{заб}}$ — длина забойки, м; L — длина (глубина) скважины, м; α — угол откоса уступа.

Выбор диаметра скважин необходимо осуществлять, исходя из следующих соображений.

- В породах **1-2 категорий трещиноватости** диаметр заряда должен выбираться возможно большим (**300—350 мм**), и величина его ограничивается лишь технологическими соображениями (мощностью карьера, производительностью станка, устойчивостью уступов и т. д.).
- В породах **3-4 категорий** при возможности применения многорядного взрывания диаметр зарядов может быть принят **200—250 мм**.
- В породах **5 категории**, а также **неоднородных** и часто перемежающихся по фронту уступа породах **5 категории для отбойки рудных тел небольшого размера**, при узких рабочих площадках уступов, при ограничениях по величине одновременно взрывааемых зарядов, при небольшом масштабе взрывных работ следует принять диаметр заряда **150—200 мм**. Уменьшение диаметра заряда следует обосновывать опытными взрывами и технико-экономическими расчетами.

Диаметр вертикальных скважин, который обеспечивает нормальную проработку подошвы уступа при данной высоте и угле откоса уступа, находят по формуле

$$d = \frac{(H \operatorname{ctg} \alpha + c) \sqrt{p}}{30(3 - m)}$$

Если определенный по этой формуле диаметр скважины получается большим, чем позволяет бурить используемый на карьере станок, то надо применить станки для бурения большего диаметра, парносближенные или наклонные скважины.

Наклонные скважины бурят параллельно откосу уступа при большой высоте уступа в трудновзрываемых породах и при малом их диаметре. В настоящее время взрывание наклонными скважинами все шире применяется на карьерах, так как этот метод обеспечивает получение существенно лучшего дробления массива, хорошую проработку подошвы уступа, резко уменьшает заколы за линию скважин, что важно для контурного взрывания.

Перебур скважин делают для лучшего разрушения массива на уровне подошвы и размещения в нижней части массива большего заряда ВВ. С увеличением глубины перебура более 12—15 диаметров заряда преодолеваемое СПП не изменяется. Поэтому глубина перебура принимается равной для слабых пород 10 диаметрам зарядов, для крепких, трудновзрывааемых — 15 диаметрам заряда.

Трестом «Союзвзрывпром» рекомендовано определять величину перебура для вертикальных и наклонных скважин по формуле

$$l_{\text{пер}} = 0,5 \cdot q \cdot W$$

Величина забойки влияет на разлет породы при взрыве, **ширину развала** породы и **использование энергии** взрыва на разрушение. При наличии мягких пластов в подошве (уголь, глина, песок) скважины недобуривают на 0,5—1,0 м до этого пласта.

С увеличением длины забойки уменьшается разлет породы и ширина развала, повышается коэффициент использования энергии ВВ на дробление. Однако при этом уменьшается величина заряда в скважине, что приводит к сближению сетки скважин. Поэтому **рекомендуется принимать минимальную величину забойки по условиям безопасности и технологичности развала**. Длина забойки принимается равной 20—30 диаметрам скважин или $(0,5...0,75)W$.

МЕТОДЫ КОНТУРНОГО ВЗРЫВАНИЯ

Это **методы направленного уменьшения разрушающего действия взрыва** в желаемом направлении. Применяется для **увеличения устойчивости откосов** уступов и бортов карьеров скальных пород при их выходе на проектный контур и весьма широко в гидротехническом строительстве, где требуется получить стенки каналов, места врезки в берега плотин с минимальными нарушениями.

Существует **два основных метода** выполнения контурного взрывания:

- а) **метод предварительного щелеобразования**, когда по проектному контуру борта карьера или выемки заранее бурят и взрывают ряд сближенных скважин иногда уменьшенного диаметра (60—100 мм);
- б) **метод завершающего контурного взрывания**, когда производят доработку разрушаемого объема до проектного контура.

Скважины контурного ряда заряжают гирляндами рассредоточенных зарядов.

Величина зоны разрушения при взрывании таких зарядов должна быть минимальных размеров. Это достигается за счет применения **специальной конструкции зарядов, уменьшения плотности заряжания**, а также подбором ВВ с минимальным бризантным действием.

Для этого на практике создают **радиальный зазор между патроном ВВ и стенками скважины**, так как известно, что давление газов взрыва обратно пропорционально плотности заряжания. При одновременном взрыве двух рядом расположенных зарядов, как известно, поле напряжений на линии, соединяющей скважинные заряды, оказывается выше, чем во всех других направлениях. Поскольку скорость роста трещин увеличивается с ростом напряжений, то на линии, соединяющей заряды, в первую очередь образуется трещина, по которой происходит прорыв газов в атмосферу с резким снижением давления в зарядных камерах.

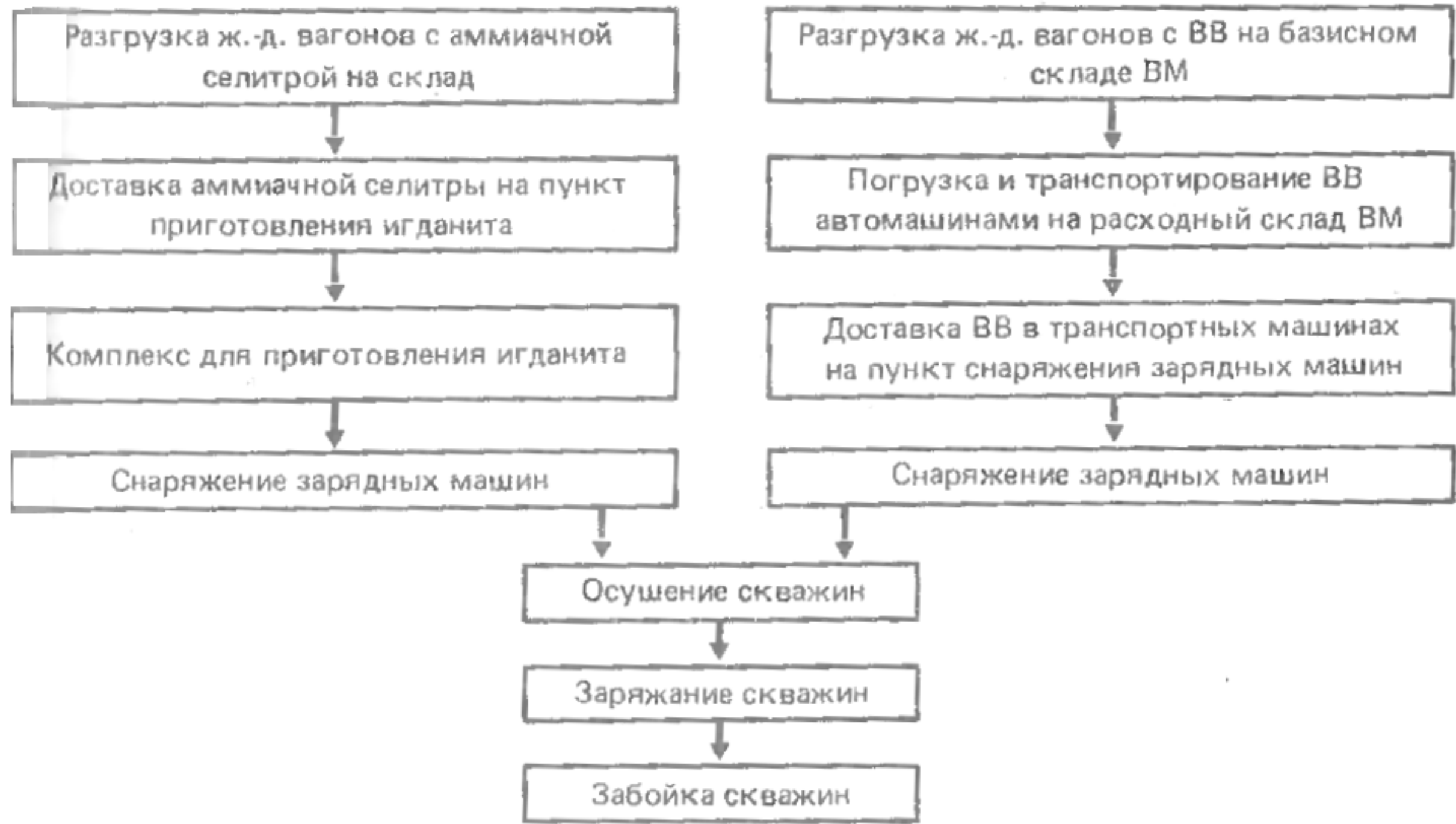
Разрушительное действие таких зарядов при небольшой плотности заряжания будет очень ограниченным. На массиве остается 30—50% сечения скважин без видимых следов разрушения стенок.

Схемы и средства механизации взрывных работ

Механизация взрывных работ на карьерах должна **исключать тяжелые ручные операции** с мешками ВВ, начиная с поступления их на склад ВМ и кончая их заряданием в скважине.

Основные участки применения средств механизации:

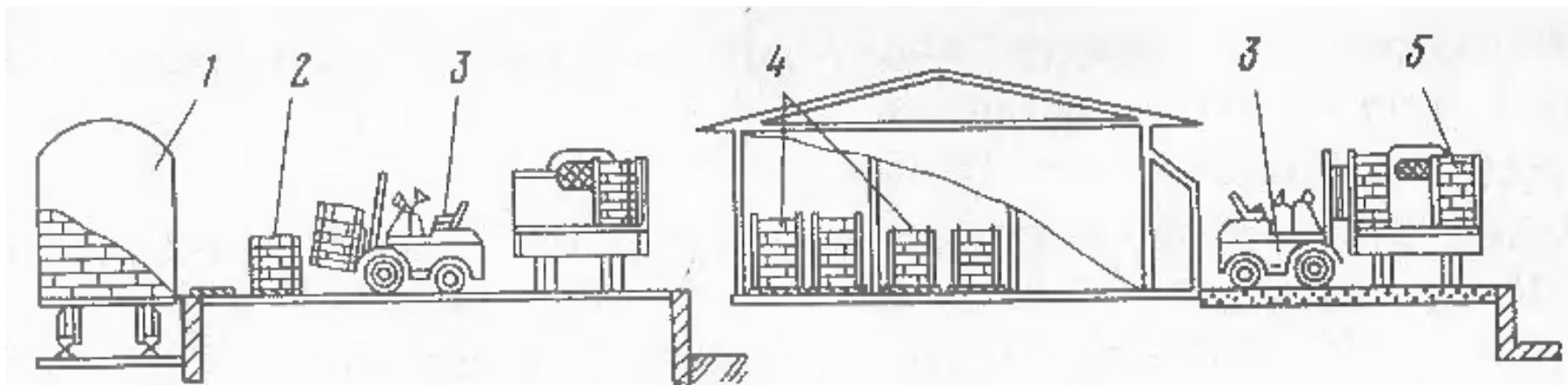
- Склад ВМ
- Пункт подготовки исходных компонентов и готовых ВВ к загрузке зарядных машин
- Оборудование для осушения скважин при заряданием
- Зарядание и забойка скважин



Механизация погрузочно-разгрузочных работ с ВМ на складах

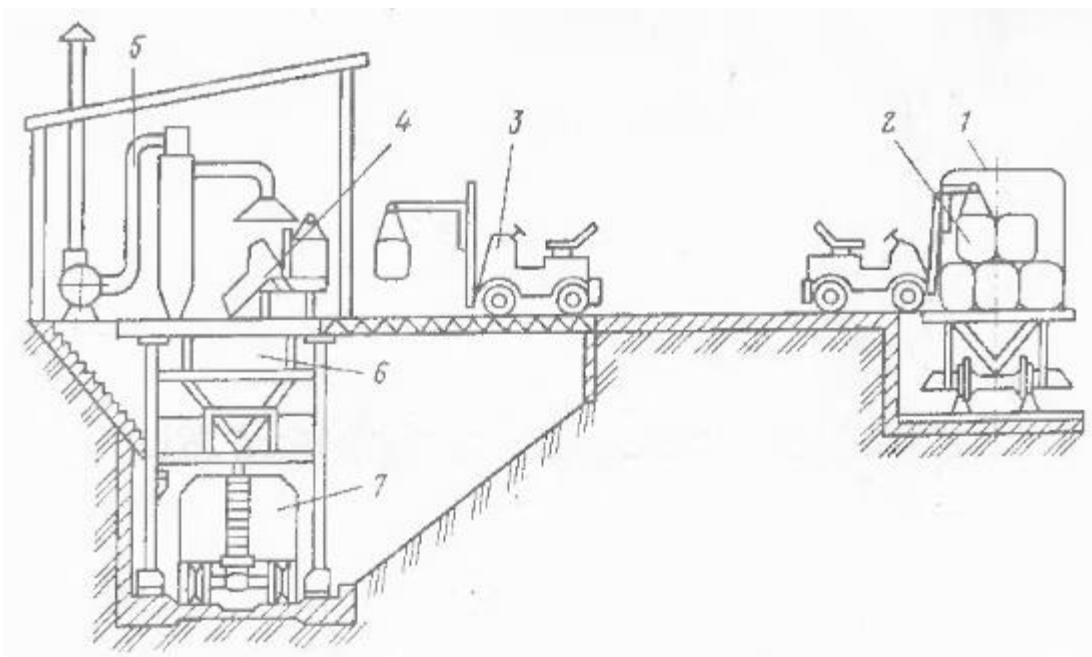
Погрузочно-разгрузочные работы на складах ВМ – выгрузка мешков, строп-контейнеров и ящиков с ВМ из железнодорожных вагонов, транспортирование их на склад, укладка на стеллажи и в штабели, съем и перемещение из склада к узлам растаривания и загрузки в зарядные машины или к пунктам приготовления ВВ из компонентов, или для непосредственной загрузки в транспортные средства для доставки в карьер или шахту

Осуществляются с помощью самоходных аккумуляторных тележек (электрокаров) и погрузчиков, оборудованных механизмами захвата, подъема и перемещения грузов к месту укладки. Для доставки ВМ, малочувствительных к внешним воздействиям (аммиачно-селитренные ВВ, тротил, ДШ и ОШ, средства зажигания) удобно и экономично использовать поддоны для размещения мешков и строп-контейнеры для размещения россыпных ВВ массой до 1 т.



На территории базисного или расходного склада может быть построен комплекс по загрузке зарядных машин заводскими гранулированными ВВ или ВВ, приготавливаемыми из компонентов на местах производства работ.

Растваривание аммиачной селитры и гранулированных ВВ из бумажных мешков осуществляется с помощью растаривающих установок. Это комплекс сооружений, включающий приемную площадку для машин или погрузчиков, с которой мешки подаются на конвейер.



Транспортировка ВМ производится специализированным транспортом, предназначенным для перевозки и временного хранения взрывчатых материалов всех подклассов и групп совместимости типа ЕХ/III по ДОПОГ (Дорожные перевозки опасных грузов).

Взрывчатые вещества могут перевозиться специальными, специализированными автомобилями и автомобилями общего назначения, приспособленными для этих целей. Также допускается перевозка взрывчатых веществ в специализированных фургонах - прицепах, комплектуемых со специальными автомобилями.

Автомобили для перевозки взрывчатых веществ проектируются, изготавливаются и оборудуются таким образом, чтобы взрывчатые вещества и изделия были защищены от опасности извне и от воздействия климатических условий.

Данные транспортные средства изготавливаются закрытого типа. Кабина водителя отделена от грузового отделения сплошной стенкой. Соприкасающиеся с грузом поверхности изготавливаются сплошными. Могут быть установлены устройства для крепления груза. Все соединения герметизированы. Все отверстия снабжены запирающимися устройствами. Двери или крышки расположены и устроены таким образом, чтобы обеспечивалось их соединение внахлест. Для изготовления кузова используются жаропрочные и огнестойкие материалы, и его стенки имеют толщину не менее 10 мм.



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СМЕШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ И ПОЛУЧЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ВВ

Данное оборудование подразделяют на:

- **стационарные пункты** смешения компоненте и получение готовых ВВ;
- **мобильные автономные пункты** на автомашинах, в которых обеспечивается хранение и доставка компонентов на заряжаемый блок, изготовление ВВ и его зарядание в скважины.

Это транспортно-смесительно-зарядные машины. Когда на стационарном пункте производят готовые ВВ, машиной осуществляют доставку ВВ и его зарядание в скважины. Это производят с помощью более простых транспортно-зарядных машин бункерного типа с шиберными затворами. На горных предприятиях работает большое число конструкций оборудования стационарных пунктов и машин.

Стационарные пункты приготовления гранулированных ВВ отличаются производительностью и способами смешения, которые делят на барабанные, шнековые, гравитационные.

Исходными явились заводские технологические схемы приготовления порошкообразных аммонитов в барабанных смесителях, а также граммонитов и гранулитов в наклонных шнековых смесителях. В созданных на горных предприятиях технологических схемах процессы подготовки компонентов и их смешения существенно упрощены, что, как показали проверки, не ухудшило качества приготовляемых ВВ, особенно учитывая, что их используют для заряжания скважин большого диаметра (150—250 мм) и более при критическом диаметре для этих ВВ 40—80 мм.

Передвижные пункты приготовления бестротиловых ВВ представляют собой зарядные машины МЗ-3, МЗ-4 и другие, которые на складах загружают аммиачной селитрой и жидким горючим, а на заряжаемом блоке производят приготовление гранулитов в шнековом смесителе-податчике, которым готовое ВВ подается в зарядный рукав и в скважину.



Смесительно-зарядная машина МЗ-3Б-01-Э на базе КАМАЗ-6522. Зарядная машина предназначена для

- транспортирования исходных компонентов (плотной и пористой аммиачной селитры, водомасленной эмульсии и раствора для газификации).
- приготовления, как простейших, так и эмульсионных взрывчатых веществ путем дозирования и смешивания компонентов, непосредственно в процессе заряжания скважин типа Гранулит марки Э и Гранулит марки ЭМ диаметром от 110 мм до 300 мм.

Конструкция машины обеспечивает возможность зарядки не менее 6 скважин с одной стоянки машины (при сетке бурения 3*2 три ряда по две скважины в ряду).

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ ВВ

Водосодержащие ВВ, как указано выше, принято различать по следующим признакам:

- **суспензионные гелеобразные:**

а) гранулированная аммиачная селитра + тротил + загуститель + раствор селитры (сларри, акватолы, акваниты);

б) раствор селитры + загуститель + тротил (горячельющиеся ГЛТ, карбатолы);

в) гранулированная аммиачная селитра + сенсibiliзатор + загуститель + сшивка для придания гелеобразного нетекучего водоустойчивого состояния;

г) эмульсионный горячий раствор аммиачной (с добавками натриевой или кальциевой) селитры + эмульгатор + жидкое горючее (индустриальное масло, дизельное топливо, мазут) + энергетическая добавка (дисперсный алюминий) + газогенерирующая добавка (эмульсионные ВВ эмулиты, порэмиты);

- **суспензионные смесевые эмульсионные:**

д) смеси эмульсионного ВВ с 30—70% AN-FO (суспензионные эмуланы, гранэмиты).

ВВ производится на стационарных пунктах или в зарядных машинах

Технологическая схема приготовления водосодержащих акватолов типа ГЛТ.

На стационарном пункте готовится горячий насыщенный раствор ($t = 85^{\circ}\text{C}$) селитры в аппарате-растворителе вместимостью 6-10 т с добавкой 15-17% воды по массе и загуститель. Приготовленный невзрывчатый раствор подается в накопительную изотермическую емкость 20—60 куб.м откуда насосом в транспортно-смесительно-зарядные машины «Аквато-IV». Аппарат растворения имеет мешалку и паронагревательную кольцевую спираль для нагрева раствора.

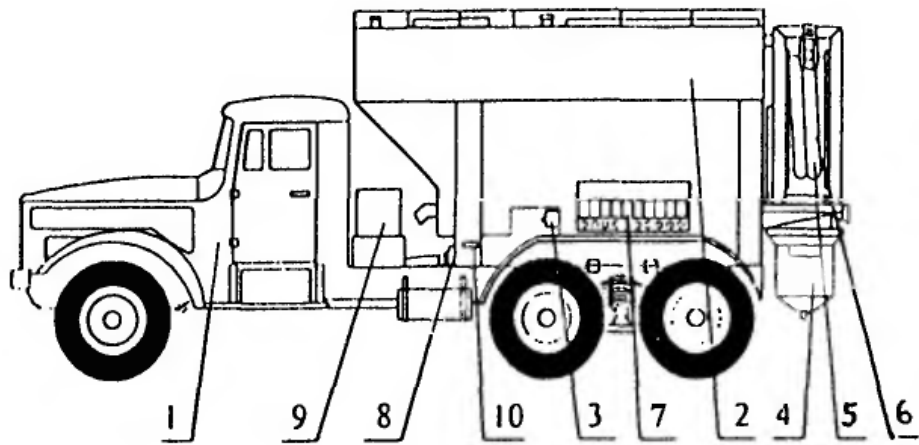
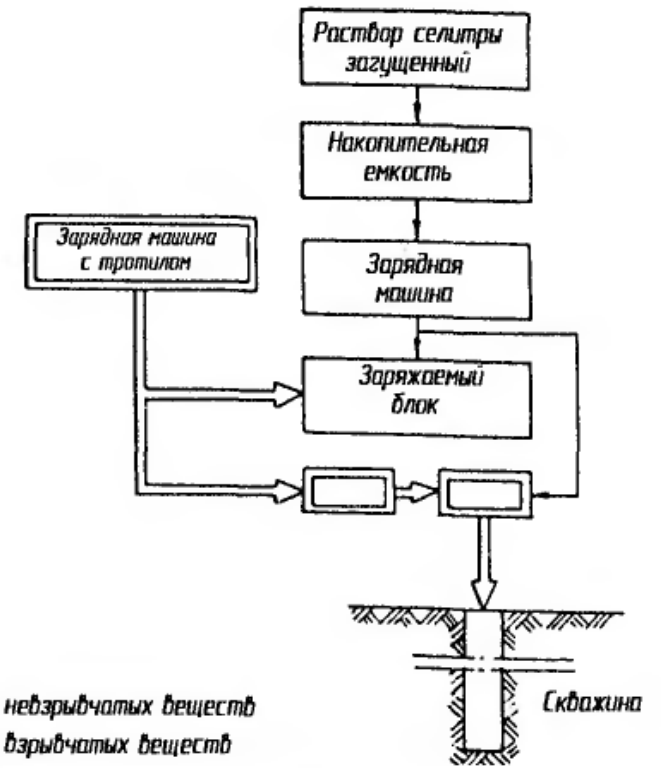


Схема транспортно-смесительно-зарядной машины на базе КрАЗ-256Б1 МЗВ-10 («Аквато-IV»):

1 — шасси машины; 2 — емкость для раствора; 3 — шнековые питатели-смесители; 4 — дозатор; 5 — шланговый насос; 6 — барабан с зарядным шлангом; 7 — пульт управления; 8 — раздаточная коробка; 9 — узел гидроаппаратуры; 10 — ящик с электрооборудованием



Технологическая схема приготовления горячих акватолов типа ГЛТ-20

Машины доставляют горячий раствор селитры на прикарьерный пункт, где из специальной емкости-бункера в емкость машины подается 20% гранулола. Шнековой мешалкой, расположенной в нижней части емкости, производят перемешивание жидкого раствора и гранул тротила в течение 20-30 мин, а затем полученная суспензия насосом через дозатор машины подается в скважину по шлангу под столб воды.

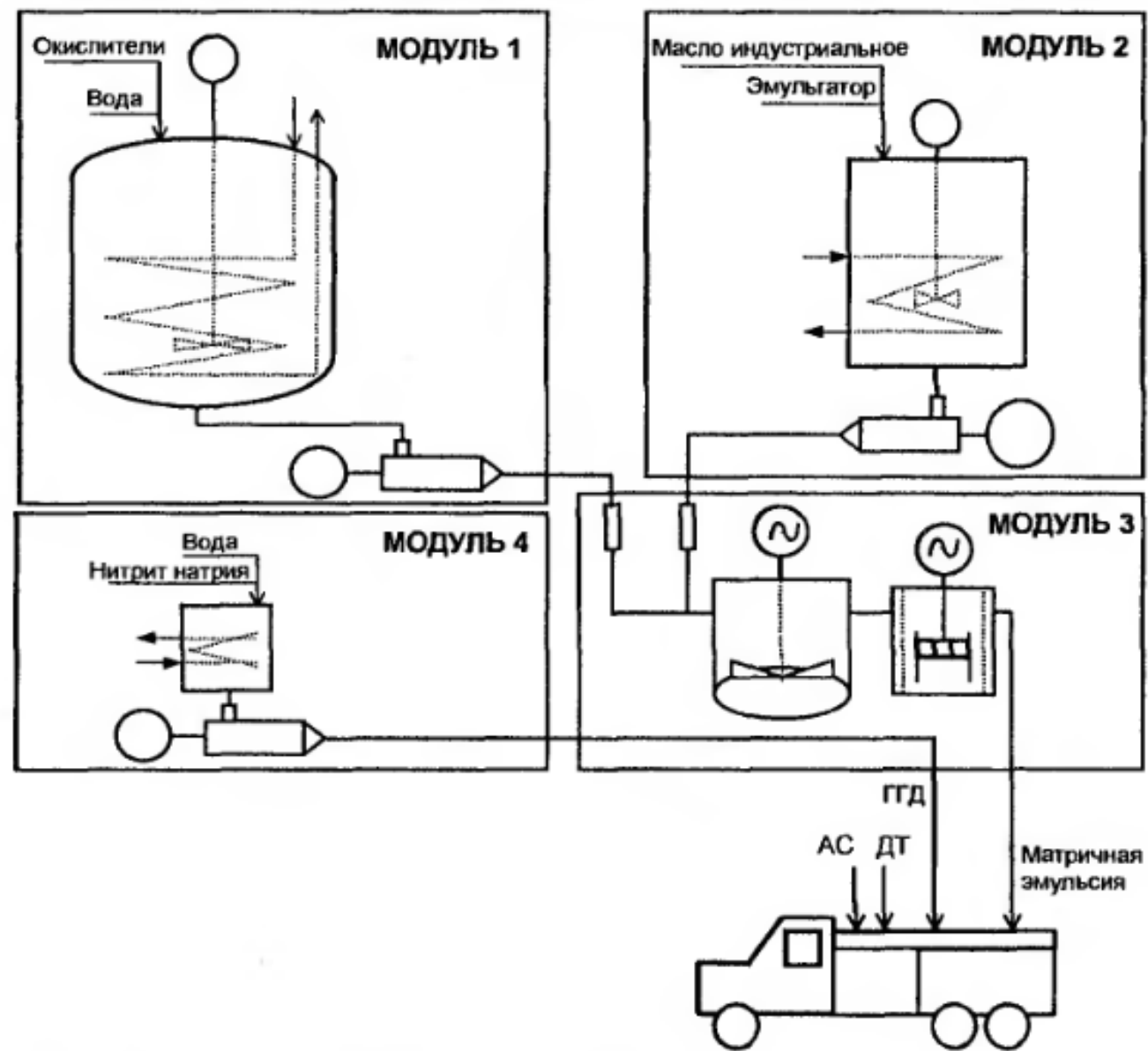
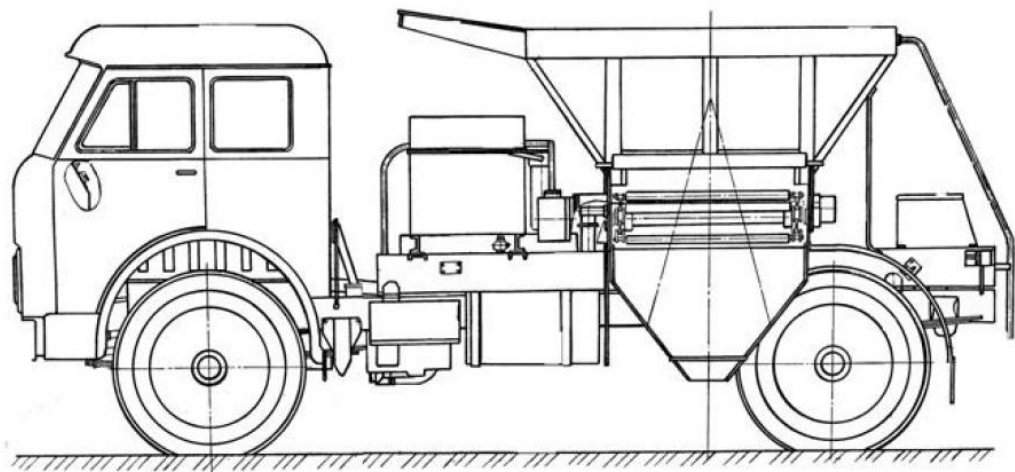


Схема получения ЭВВ в модульном исполнении ГосНИИ «Кристалл»:

1 — модуль приготовления раствора окислителя; 2 — модуль получения эмульсии; 3 — модуль приготовления смеси горючего с эмульгатором; 4 — модуль приготовления ГД



Машина забоечная ЗС-1М

Машина забоечная предназначена для транспортирования забоечного материала (песок, щебень, отходы обогатительных фабрик размером до 10мм) к заряженным скважинам и механизированной забойки вертикальных и наклонных скважин на открытых горных работах. Базой машины является автомобиль, МАЗ-5337, на шасси которого смонтирован питатель в виде бункера с донным скребковым конвейером.

Техническая характеристика:

Грузоподъёмность, т, не менее 6,5

Производительность, кг/мин, не менее 1700

Рекомендуемый диаметр забиваемых скважин, мм, не менее 190

Вместимость бункера, м³ 4,0