

ЛЕКЦИЯ № 5 и ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

ЛЕКЦИЯ 5. КРЕПЛЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

1. КЛАССИФИКАЦИЯ КРЕПЕЙ

Большинство эксплуатационных горных *выработок проходится с креплением*. *Стоимость работ по креплению достигает 30%* и более от всех затрат на проведение выработок. Материал и конструкции крепи полностью определяются паспортом крепления выработки.

Горная крепь (рудничная, шахтная) — искусственные сооружения, возводимые в выработках для предотвращения обрушения окружающих пород и сохранения необходимых площадей сечения, а также для управления горным давлением.

Паспорт крепления горной выработки должен определять для выработки способ управления горным давлением, тип и конструкцию крепи, последовательность производства работ по креплению и их объем.

Горная крепь должна удовлетворять следующим *требованиям*:

- обеспечивать рабочее состояние выработок и безопасные условия работы в них в течение всего срока службы;
- сумма первоначальных затрат на изготовление, установку крепи и затрат на эксплуатацию в течение всего срока службы выработки должна быть минимальной;
- крепь не должна препятствовать выполнению производственных процессов, вызывать технические осложнения при проведении и эксплуатации выработок.

Классификация крепей:

По сроку службы различают *временные и постоянные крепи*. Временные крепи возводятся, как правило, в призабойной зоне до возведения постоянной крепи в породах, склонных к вывалам.

Крепи подготовительных и капитальных горных выработок по конструктивным и технологическим признакам разделяют *на рамную, сплошную и анкерную*.

По периметру выработки рамные и сплошные крепи могут быть — *замкнутым и незамкнутым контуром*.

Сплошные крепи делятся на 2 типа: *монолитные и сборные*.

Анкерные крепи подразделяются на 2 подкласса: *с закреплением анкеров в донной части скважины* (с распорным замковым устройством) и *с закреплением анкеров по всей длине скважины*.

По характеру деформируемости под действием горного давления крепь может *быть жесткой, податливой или шарнирной*. Жесткая крепь не имеет податливых или шарнирных узлов. Примером жесткой крепи могут служить бетонные и железобетонные крепи.

По деформационно-силовой характеристике крепи бывают *жесткие* (смещения до 50 мм), *малоподатливые* (до 100 мм), *податливые* (до 300 мм) и *весьма податливые* (более 300 мм).

Кроме того, каждый из этих подклассов, а также и классы анкерной крепи в зависимости от применяемого для их изготовления материала разделяются на подгруппы: *ме-*

таллические, деревянные, бетонные, железобетонные, из полимерных материалов, смешанные.

По характеру работы крепи бывают *ограждающие, изолирующие и несущие*. *Ограждающие крепи* предназначены для защиты людей и оборудования от случайных местных вывалов кусков породы. Они часто используются в качестве временных передвижных. *Изолирующие крепи* предназначены для защиты обнажений пород в выработках от выветривания, переувлажнения, вымывания, растрескивания, иногда теплоизоляции, а также сглаживания неровностей. Они выполняются обычно в виде покрытий из торкрет- и набрызгбетона, полимерных материалов и т. п. *Несущие крепи* имеют основное назначение воспринимать нагрузки от горного давления.

По структуре конструкции крепи бывают *однослойные* и *многослойные*.

По способам возведения крепи бывают *обычные и специальные* (забивная, задавливаемая, погружная, опускная, предварительно обжата и т. п.).

По возможности перемещения крепи бывают *стационарные и передвижные*.

2. ВИДЫ И ТИПЫ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Под *крепежной рамой* понимают конструкцию горной крепи, изготовленной из дерева, металла или железобетона, прямоугольной, трапецевидной, арочной, круглой или иной формы.

В отличие от рамной *сплошная крепь* полностью перекрывает кровлю и бока выработки, а иногда и почву. Выполняется такая крепь из монолитного бетона или сборного железобетона. К сплошной также относят и рамную крепь, если крепежные рамы установлены вплотную одна к другой.

В настоящее время в горных выработках применяют *деревянную крепь, металлическую, монолитную бетонную, набрызг-бетонную, анкерную и комбинированную крепь*.

Крепежные материалы делятся:

- по использованию в конструкции крепи — *на основные*, применяемые в несущих конструкциях крепей (*металл, бетон, дерево, пластмассы и др.*), *вяжущие*, служащие для приготовления растворов, и *вспомогательные* (водоизоляционные материалы, химические реагенты и др.);
- по сроку службы в выработках — *на долговечные* (бетон, металл и др.) и *недолговечные* (дерево);
- по характеру деформации под нагрузкой — *на хрупкие* (бетон, камни и др.) и *упруго-пластические* (металл).

Крепежные материалы выбирают в зависимости от конструкции крепи, срока службы и назначения выработок, величины горного давления и экономических факторов.

ДЕРЕВЯННАЯ КРЕПЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.

Деревянную крепь применяют в выработках со сроком службы до 5—6 лет, находящихся в условиях незначительного и средней величины давления горных пород. При благоприятных горно-геологических условиях и консервированном лесе срок службы деревянной крепи может быть увеличен.

Для крепления горных выработок применяют *ель, сосну, лиственницу, кедр, пихту*.

Достоинства деревянной крепи: возможность применения в различных условиях, простота изготовления, невысокая трудоемкость конструкции, невысокая первоначальная стоимость. **Недостатки:** малый срок службы, огнеопасность, невозможность многократного использования.

Наиболее широко для крепления применяют сосну. Ель обладает более низкими механическими свойствами, содержит меньше смолы и поэтому скорее загнивает. Ель применяют в сухих выработках с небольшим горным давлением и малым сроком службы. Пихта менее прочна, чем ель, и хуже противостоит загниванию. Лиственница обладает высокой механической прочностью и стойкостью против загнивания. Ее применяют при креплении капитальных горных выработок с большим сроком службы. Бук, дуб, граб и другие породы леса как крепежный материал применяют крайне редко.

Срок службы деревянной крепи зависит от породы древесины и ее качества, влажности рудничной атмосферы, свойств подземных вод, а также качества работы крепильщика и его квалификации. Наиболее эффективным способом увеличения срока службы древесины является **антисептирование**, т. е. пропитка ее специальными растворами, предупреждающими гниение (хлористый цинк, фтористо-натриевые соединения и др.).

При креплении применяется **круглый лес и пиломатериалы в виде пластин (распилов), брусьев, досок и обapol (горбыль)**.

Круглый лес применяется в виде **бревен** (диаметр 12 см и более, длина стойки 2–4,5 м), **подтоварника** (диаметр 8–11 см) и **жердей** (диаметр 3–7 см).

Доски, брусья, бруски и обapолы для крепления горных выработок готовят из тех же пород, что и стойки. **Доски применяют** для затяжки кровли и боков горных выработок, устройств опалубок, настилов, полков. **К доскам** относятся пиломатериалы, ширина которых больше двойной толщины. **К брускам** относят пиломатериалы, ширина которых равна или менее двойной толщины. **К брусьям** относят пиломатериалы, ширина и толщина которых более 100 мм.

Обapол (горбыль) разделяют на **габаритный** — с непропиленной наружной поверхностью или пропиленной не более чем на половину длины и **дощатый** — с пропиленной наружной поверхностью более чем на половину длины обapола.

Основной конструкцией деревянной крепи является **неполная крепежная рама**, имеющая трапецевидную или прямоугольную форму. Она состоит из **двух стоек и верхняка**. В зависимости от устойчивости горных пород крепежные **рамы устанавливаются либо вплотную друг к другу (всплошную)**, либо **на расстоянии 0,5–1,5 м друг от друга — вразбежку**.

При «пучении» пород почвы выработки следует применять **полные крепежные рамы**, имеющие дополнительный элемент — **лежень в нижней части**.

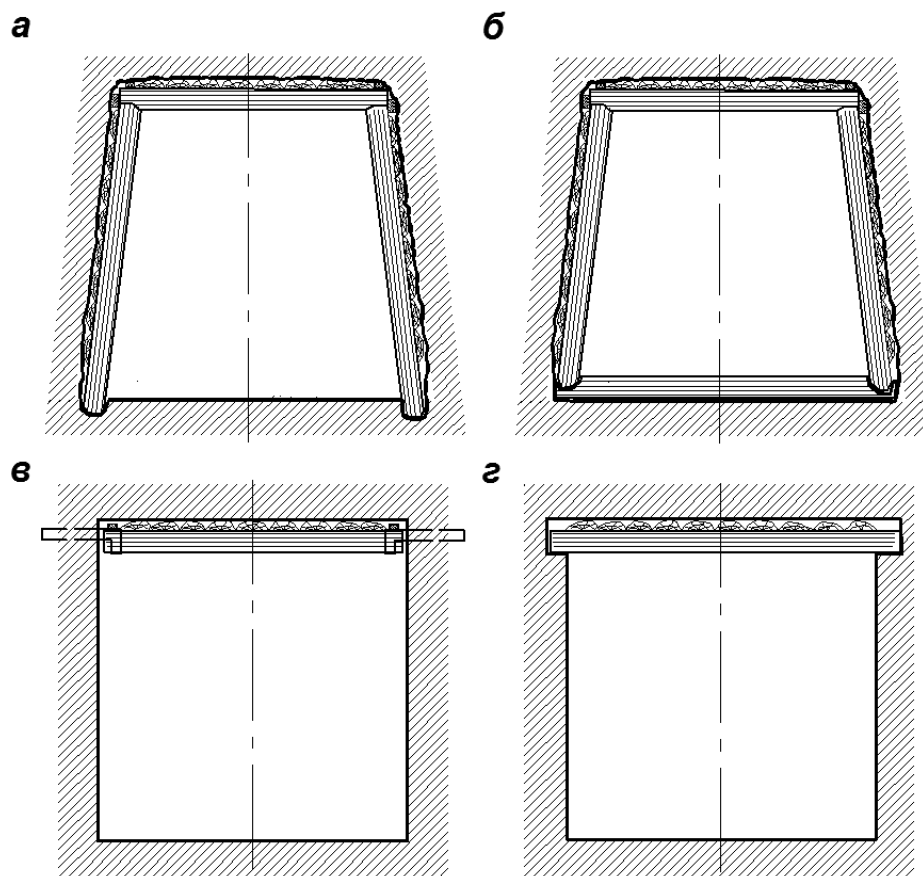


Рис. 2.1. Деревянная крепь: а - неполная крепежная рама; б - полная крепежная рама; в - потолочная крепь на крючьях; г - потолочная крепь (верхняки уложены в лунки)

Элементы крепежных рам соединяются между собой при помощи замков. Замком крепи - называют фигурные вырубki на концах двух смежных элементов деревянной крепи, применяемые для соединения этих элементов между собой. Весьма важным является тщательность выполнения замков и их точная подгонка.

Обычно стойки с верхняком соединяют «в лапу», «в зуб», «в паз», «в шип» и «встык»

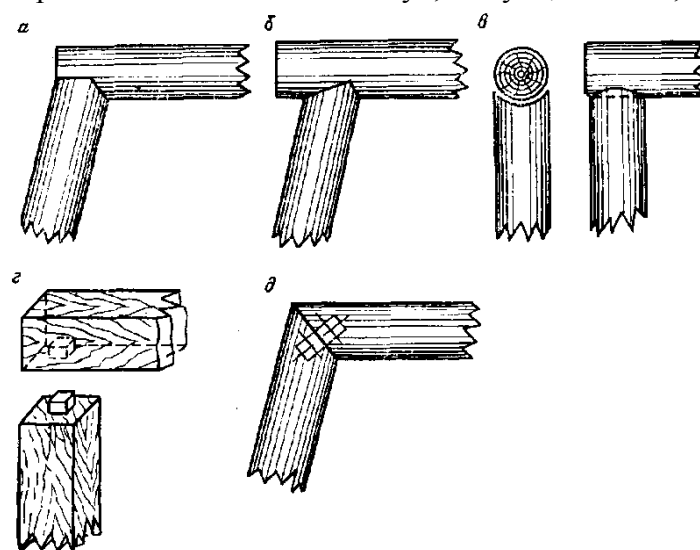


Рис. Конструкции замков деревянной крепи: а - в лапу, б - в зуб, в - в паз, г - в шип, д - в стык

Для фиксации крепежных рам относительно продольной оси выработки и их закрепления в нужном месте и положении применяется **расclinка в верхних углах рамы**.

Для предупреждения вывалов породы **при креплении вразбежку** кровлю и стенки выработки в необходимых случаях следует **затягивать обанопами (горбылем) или досками**. Затяжка кровли и боков, в зависимости от устойчивости пород, производится «всплошную» или «вразбежку», «встык» или «внахлестку».

МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ КРЕПЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Металлическую крепь применяют для крепления капитальных и подготовительных выработок со сроком службы **от 3 до 15 лет и более**, проводимых в породах любой крепости.

Достоинства металлической крепи: значительная прочность, большой срок службы, легкость монтажа, возможность многократного использования, безопасность в пожарном отношении. **Недостатки:** сравнительно высокая первоначальная стоимость, сложность ремонта, подверженность коррозии.

В настоящее время наибольшее распространение получили **трапецевидная, арочная, эллипсовидная и кольцевая крепи**. В зависимости от условий работы крепь выполняется *податливой* или *жесткой*.

Трапецевидные крепежные рамы готовят из рельсов, бывших в употреблении, и балок двутаврового или швеллерного профиля. Эту крепь применяют в выработках небольшого сечения с установившимся горным давлением. Стойки крепежных рам готовят из профиля того же размера, что и верхняк, с учетом геометрических характеристик.

Для изготовления **арочных металлических крепей** применяют сталь специальных профилей, обладающих примерно одинаковыми моментами сопротивления относительно обеих главных осей и более полно по сравнению с профилями общего назначения отвечающих условиям нагружения крепи в горных выработках. **Арочная крепь** состоит из **арок, межарочных металлических стяжек и железобетонных или деревянных затяжек**; **арка** — состоит из одного верхнего сегмента и двух боковых звеньев. Концы верхнего сегмента арки телескопически входят в боковые звенья, а места соединения стягиваются хомутами.

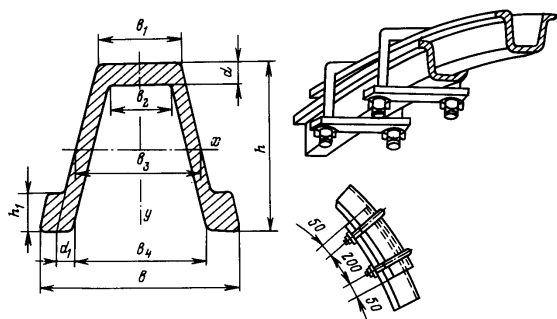


Рис. Размеры спец.профиля СВП

Податливость крепи достигается за счет вдвигания одного в другой концов звеньев арки в местах их соединения и составляет **320—350 мм**. В период податливости с увеличением давления на крепь растет сопротивляемость крепи, так как увеличиваются распор и заклинивание боковых плоскостей профиля. Путем изменения силы зажатия хо-

ментами скользящих стыков соединений можно регулировать степень податливости крепи.

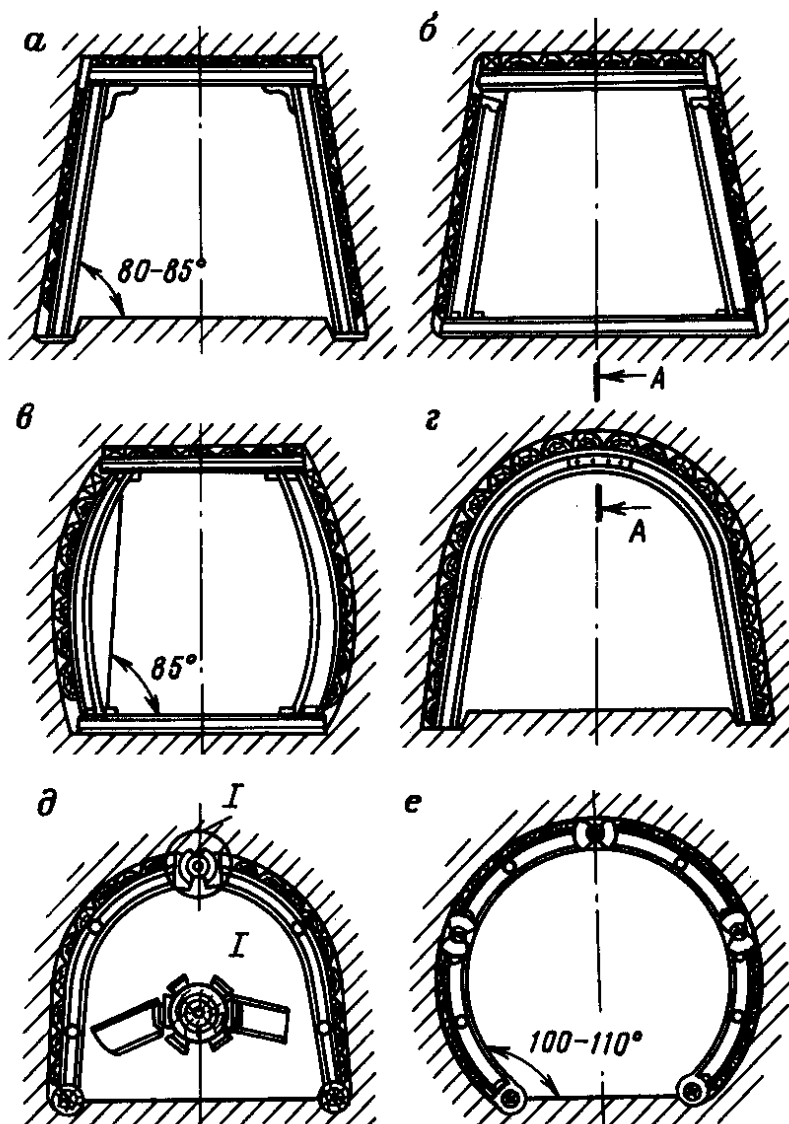


Рис. Металлическая рамная и арочная крепь: *а* - трапецевидная неполная; *б* - трапецевидная полная; *в* - бочкообразной формы; *г* - арочная жесткая; *д* и *е* - арочная шарнирно-податливая

БЕТОННАЯ, ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ И НАБРЫЗГ-БЕТОННАЯ КРЕПЬ.

Бетонную крепь применяют для крепления выработок *с большим сроком службы и при значительном горном давлении*. Бетон слабо сопротивляется растягивающим и изгибающим усилиям, поэтому крепи придают форму, при которой возникают только сжимающие напряжения. При вертикальном горном давлении в качестве **основной формы крепи** принимают *сводчатую с вертикальными стенками*. В зависимости от отношения подъема свода к его пролету различают *своды полуциркульные*, подъем которых равен половине пролета выработки ($h_c = 0,5l$), *повышенные* ($h_c > 0,5l$) и *пониженные* ($h_c < 0,5l$). По очертаниям различают *своды цилиндрические*, очерченные одним радиусом, *трехцентровые*, очерченные двумя радиусами из трех центров, и *параболические*.

Бетон — искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания смеси из вяжущего, крупного и мелкого заполнителей и воды. В качестве мелкого заполнителя применяют песок, а крупного — гравий или щебень из пород, прочность которых должна быть не ниже прочности бетона. Вяжущие и вода являются активными составляющими бетона, а песок и крупный заполнитель — инертными составляющими.

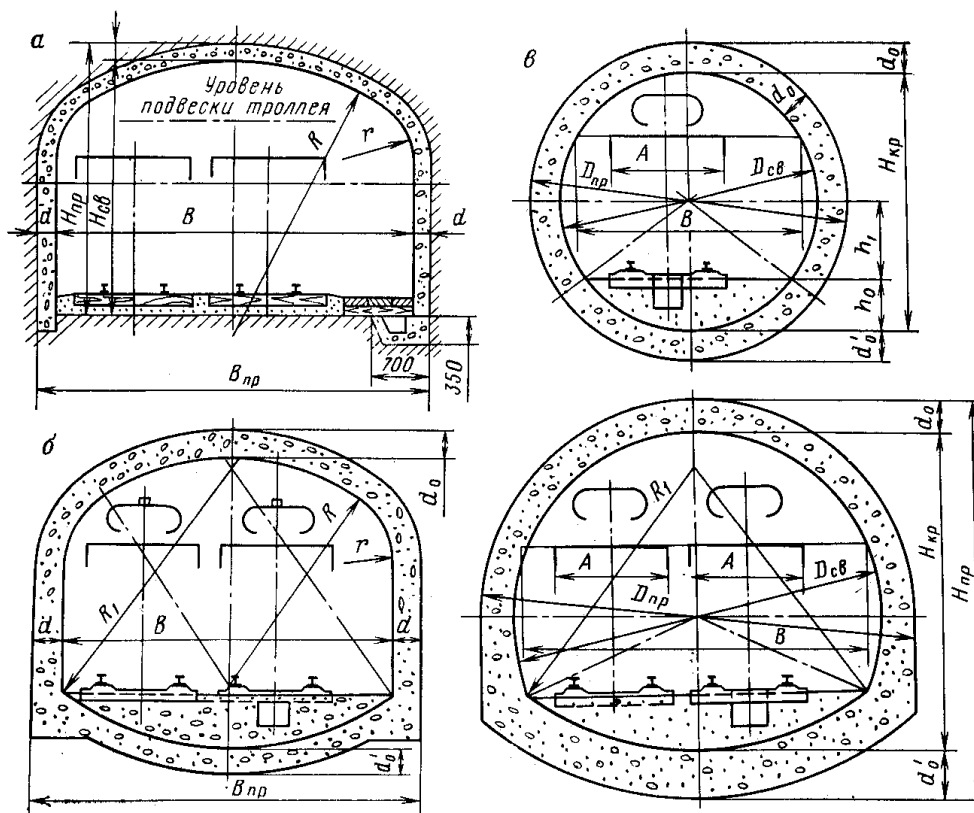


Рис. Монолитные бетонные крепи: а — сводчатая с вертикальными стенками; б — сводчатая с обратным сводом, в — цилиндрическая и арочная бетонная с обратным сводом (для сложных горно-геологических условий)

Наиболее распространенным вяжущим для возведения горной крепи является **цемент**. При затворении цемента водой образуется цементное тесто. После схватывания цемента наступает период твердения, в течение которого механическая прочность образовавшегося цементного камня постепенно нарастает. Наилучшие условия для твердения обеспечиваются во влажной среде при температуре от 15 до 20 °С. При температуре менее 5 °С скорость схватывания и твердения значительно снижается, а при —10 °С схватывание прекращается.

В горном деле и строительстве широкое распространение получил **портландцемент** марок, **300, 400, 500 и 600**. Марка цемента характеризует предел прочности при сжатии образцов, изготовленных из раствора состава 1 : 3 при водоцементном отношении $B : Ц = 0,4$.

При агрессивных шахтных водах применяют **специальные цементы: глиноземистый, шлаковый портландцемент и др.**

Состав бетона выражается соотношением масс: **1 : А : Б**, т. е. на одну часть цемента приходится А частей песка и Б частей гравия.

Бетоны по плотности разделяют на **тяжелые и легкие**. Для горной крепи применяют в основном тяжелые бетоны с плотностью 2200—2300 кг/ч³.

По расходу цемента на 1 м³ бетонной смеси различают бетоны *жирные* (более 250 кг/м³), *средние* (200—250 кг/м³) и *тощие* (менее 200 кг/м³). Для горной крепи чаще применяют жирные и средние бетоны.

По консистенции бетонные смеси различают *жесткие*, *пластичные* и *литые*. Жесткие смеси содержат 6—6,5 % воды от массы сухой смеси. При укладке они требуют вибрирования или трамбования. Пластичные бетоны содержат 6,5—8 % воды и хорошо укладываются при слабом трамбовании. Литые бетоны содержат 8—12 % воды и свободно растекаются и укладываются в конструкции опалубки.

Для изготовления горной крепи применяют жесткий бетон. Пластичные бетоны чаще используют при возведении железобетонных конструкций, а литые в случае применения бетоноукладчиков и бетононасосов.

Железобетон — материал, состоящий из бетона и введенной в него стальной арматуры, работающих в конструкции совместно. Благодаря этому железобетонная крепь способна нести значительные нагрузки. Совместная работа арматуры и бетона обеспечивается хорошим их сцеплением. Количество арматуры определяется расчетом и характеризуется процентом армирования, представляющим собой отношение общей площади сечения рабочей арматуры к площади сечения бетона, выраженное в процентах. Для горной крепи процент армирования принимают 0,5—1,5.

В пласт-бетоне в качестве вяжущего используют синтетические смолы различного состава (эпоксидную и др.) и специальные добавки (полиэтиленполиамин и т. п.). Пласт-бетон характеризуется высокой прочностью на сжатие, изгиб и растяжение, отличается стойкостью против агрессивных вод и высокой водонепроницаемостью.

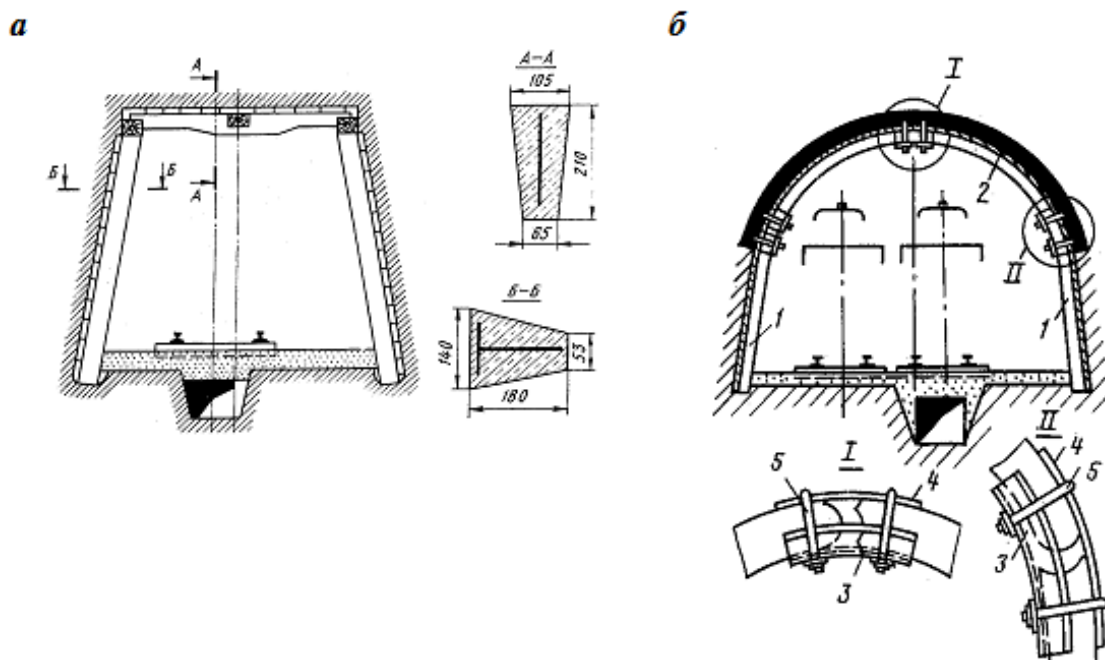


Рис. 2.6. Сборные железобетонные рамные крепи: а — трапецевидная; б — арочная (1- стойки; 2 — криволинейные сегменты; 3 — отрезки спец.профиля; 4 — металлическая полоса; 5 — скобы с планками и гайками)

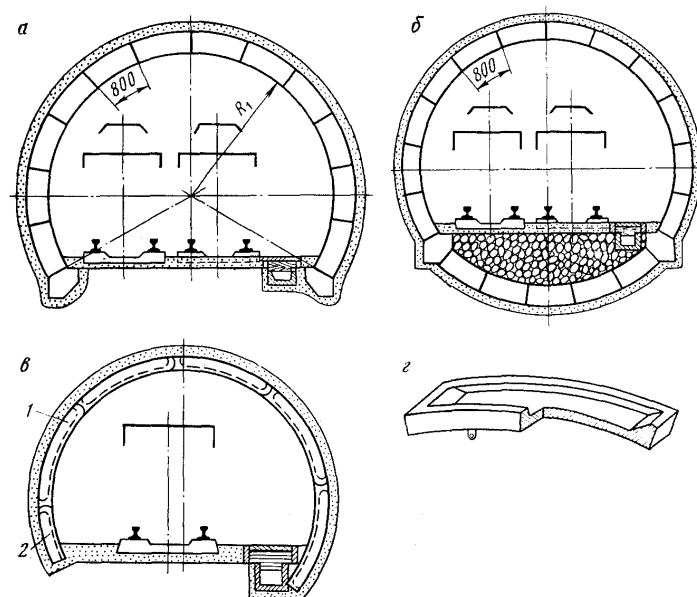


Рис. 2.7. Сборные сплошные крепи: а – блочная бетонная с незамкнутым контуром; б – блочная бетонная с замкнутым контуром; в – арочная железобетонная сплошная тубинговая крепь (1 – тубинг, 2 – полутубинг); г – тубинг

Торкретирование - заключается в том, что на породе, крепь или другую поверхность с помощью сжатого воздуха наносят раствор из смеси цемента, заполнителей и воды, который прочно схватывается с поверхностью и затвердевает. Материал, образующийся в результате торкретирования при мелких фракциях заполнителей (до 8 мм), называется торкретом (торкретбетоном), а при включении крупных фракций (до 25 мм) — набрызгбетоном.

Набрызгбетон - получил широкое распространение в различных областях строительства, а в подземных сооружениях становится одним из основных материалов для крепления выработок. Кроме того, его применяют для создания покрытий, предохраняющих породу от выветривания и отслаивания, создания гидроизоляционных, огнестойких и воздухонепроницаемых покрытий, усиления и ремонта бетонных крепей.

Наибольшее распространение получили следующие **типы крепей с использованием набрызгбетона**:

- покрытия непосредственно по породе;
- анкерная крепь в сочетании с покрытием из набрызгбетона по сетке или без нее;
- арка или рамы с покрытием породы между ними набрызгбетоном.

Толщина покрытия из набрызгбетона не превышает обычно **15 см**. В крепких породах с трещиноватостью рациональная толщина покрытия составляет **3—5 см**. В породах слабых и раздробленных набрызгбетон применяют в сочетании с усиливающими арками из металла.

Для ускорения твердения в бетон добавляют фтористый натрий, тонкомолотый алюминиевый спек и другие компоненты в количестве **2—5 %** от массы цемента.

Крепление искусственными камнями (кирпич, бетониты и др.).

Кирпич, применяемый для крепления, имеет стандартные размеры **250×120×65 мм**. Строительными нормами и правилами на горнопроходческие работы рекомендуется

использовать среднеобожженный кирпич марок 150 и 175 с водопоглощением 10—12 %. Кирпич должен быть стойким к агрессивным водам и морозостойким.

Бетонные камни разделяют на бетониты, шлакоблоки и камни из горелых пород отвалов. Бетониты готовят из бетонной смеси. Для кладки вертикальных стен им придают прямоугольную форму, а при овальном очертании — клиновидную. Масса камня при ручной кладке составляет 20—29 кг. Марка камней по СН и ПУ должна быть не ниже 150.

Толщину крепи из искусственных камней определяют по тем же формулам, что и для бетона, и принимают с учетом стандартных размеров бетонитов или кирпича.

АНКЕРНАЯ КРЕПЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.

Анкерная крепь. — применяется в породах с $f \geq 4$, в устойчивых и средней устойчивости трещиноватых породах склонных к отслоениями и при пришивании мягких пород к слою прочных пород.

Сущность крепления горных выработок **анкерной крепью** заключается в том, что слои непосредственной кровли подшиваются к более прочной основной кровле или скрепляются между собой анкерами (штангами). Скрепление пород кровли осуществляется *металлическими, железобетонными, деревянными или сталеполимерными анкерами. Длина анкеров — 1,2-2 м.*

Клинощелевые анкера (рис. а) - изготавливают из круглой стали диаметром 18...25 мм. В замковой части имеется щель шириной 3...5 мм и длиной 200...250 мм, в которую при установке штанг вводят клинья длиной 150...200 мм и толщиной 25...40 мм. Штангу при установке вводят в шпур замковой частью. При ударах по выступающему из шпура концу штанги она надвигается на клин, при этом разрезные половинки внедряются в породу стенок шпура и закрепляются. Диаметр шпура должен быть на 10...15 мм больше диаметра штанги в замковой части. После закрепления штанги на ее конец, выступающий из шпура, надевают опорную шайбу и завинчивают гайку.

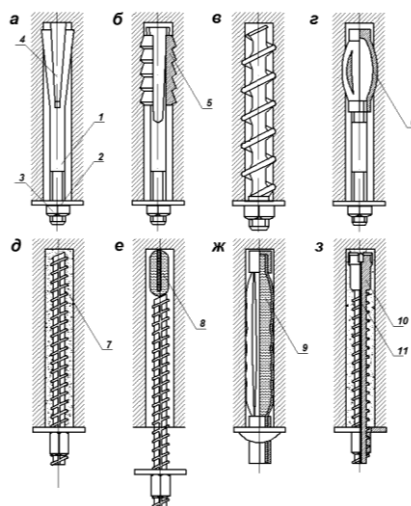


Рис. Конструкции анкеров: а - клинощелевой; б - распорный; в - винтовой; г - взрывораспорный; д - сплошной железобетонный; е - сталеполимерный; ж - анкер Swellex; з - самозабуривающийся анкер SDA; 1- анкер; 2 - опорная шайба; 3 - гайка; 4 - клин; 5 - клиновидный сегмент; 6 - трубчатая головка после взрыва низkobризантного ВВ; 7- песчано-цементная смесь; 8 - ампула со смолой и отвердителем; 9- вода; 10 - интегральная коронка; 11- отверстие в анкере для подачи песчано-цементной смеси.

Несущая способность замка зависит от прочности пород на вдавливание и от площади контакта разрезных половинок штанги с породой. Клинощелевые анкера используют в породах средней крепости $f=4\ldots 8$, при этом несущая способность замка достигает 100...120 кН.

Анкеры с распорным замком (рис., б) - выполняют из круглой стали диаметром 16...22 мм с конусной или клиновой головкой и называют распорно-конусными и распорно-клиновыми. Замок в шпуре закрепляют с помощью гильзы или клиновидных сегментов, которые распираются головкой анкера при ее натяжении. Головки выполняют съемными — на резьбе (сборный анкер) или из стержня (цельный анкер). Наружный диаметр гильзы или распорных сегментов при диаметре шпура 42 ... 44 мм принимают равным 38 ... 40 мм, а высоту 80..140 мм, вследствие чего достигается значительно большая площадь контакта замка с породой, чем в клинощелевых анкерах.

Взрывораспорные анкера (рис. 2.8, г) - состоят из металлического стержня диаметром 20...25 мм и пустотелой головки, в которой помещен заряд низкобризантного ВВ. Закрепление замка осуществляется в шпуре в результате раздутия головки при взрыве заряда. Штанги рекомендуются применять в мягких глинистых породах.

Железобетонные анкера (рис., д) - получают в результате заполнения песчано-цементным раствором шпура, в который затем вводят стальную арматуру. В качестве арматуры используют сталь периодического профиля диаметром 16...25 мм, иногда применяют арматуру из стального каната. Заполнение скважин раствором производят с помощью пневматических нагнетателей. Достоинством железобетонных анкеров является то, что раствор, заполняющий скважину, создает прочный контакт с породой по всей длине анкера и препятствует смещению и расслоению пород. Анкера вступают в работу лишь после приобретения раствором определенной прочности, поэтому их целесообразно применять в тех случаях, когда давление в выработке начинает проявляться через некоторое время. При быстротвердеющем цементе этот срок сокращается до 5...6 ч.

Сталеполимерные анкера (рис. е) - состоят из стального стержня круглого или периодического профиля и уплотнительного кольца. На конце штанги, находящегося у контура выработки, имеется резьба для гайки и опорная шайба. Глубинный конец закрепляют в шпуре с помощью быстротвердеющего полимербетона, состоящего из смолы, отвердителя, ускорителя твердения и мелкого наполнителя. Для подачи полимер-бетонной смеси в забой шпура обычно используют полиэтиленовые ампулы, наполненные смесью смолы, ускорителя и наполнителя. Отвердитель вводят в ампулу в закрытой стеклянной пробирке.

При установке штанги ампулу вводят в шпур, досылают до забоя стержнем штанги, раздавливая ампулу и пробирку с отвердителем. Затем контурный конец штанги временно расклинивают в устье шпура. Время твердения состава полимербетона не превышает 15...20 мин.

Анкеры Swellex компании Atlas Copco (рис. ж) - представляют собой трубку свернутую по оси для получения меньшего диаметра и запаивая по концам. Установка анкерных болтов Swellex может производиться в автоматическом, полуавтоматическом или ручном режимах в пробуренные шпуры. После этого внутрь анкера подается вода под давлением 300 бар и удерживается внутри 40...50 секунд для равномерного расширения профиля грузонесущего элемента анкера и его адаптации к неровностям стенок шпура. Затем давление снимается, и анкер полностью готов к работе, в том числе максимальными

нагрузками. Вся операция по ручной установке анкера в пробуренный шпур занимает около 1,5...2 минут. Основными преимуществами анкерных болтов Swellex являются: безопасность, быстрая и надежная установка, контакт анкера со стенками шпура происходит по всей длине его грузонесущего элемента.

Самозабуривающиеся анкерные болты SDA компании Atlas Copco (рис. 3) - представляют собой стальную полую нарезную штангу, используемую одновременно в качестве буровой трубы и грузонесущего элемента анкера, и состоят из стержня, буровой коронки, крепежной шайбы, соединительной муфты и фиксирующей гайки.

Особенностью анкера является наличие внутреннего отверстия по всей длине штанги, позволяющего производить бурение с одновременной цементацией, и специальной волнообразной (веревочной) или трапециевидной резьбой левой навивки для соединения со стандартными хвостовиками типа R бурового оборудования. Основное предназначение самозабуривающихся анкерных болтов SDA состоит в укреплении рыхлых, обрешивающихся грунтов и почв без обсадки трубами с использованием цементации.

Податливые анкерные болты Roofex компании Atlas Copco - податливый анкер, амортизирующий смещение горных пород с высокой степенью предсказуемости. Он предназначен для распределения нежелательного напряжения при деформации породной массы, например, в случае значительного оседания неустойчивого грунта или внезапного и резкого явления, например, разрыва породы.

Для установки Roofex используется стандартное оборудование для полимерных анкеров. После бурения шпура и установки полимерных капсул путем вращения устанавливается анкер Roofex. При этом капсулы с полимером разрываются, и полимер равномерно распределяется вокруг анкера. Амортизатор напряжения фиксируется в породе за пределами предполагаемой зоны трещиноватости, а внутренняя стальная арматура способна перемещаться внутри защитных трубок и элемента амортизатора напряжения. Это минимизирует возможность прижатия стержня анкера из-за внезапного смещения породы.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

Тема: Расчет паспорта БВР на проведение горной выработки

- рассчитывают количество шпуров на забой**

Для расчета удельного расхода ВВ применяется эмпирическая формула М. В. Покровского, которая определяет количество ВВ, необходимое для подрыва 1 м³ породы

$$q = q_0 \cdot k_w \cdot k_c \cdot e, \text{ кг/м}^3,$$

где q_0 – удельный нормальный расход ВВ, рассчитанный для некоторых стандартных условий, (табл.6) кг/м³;

e – коэффициент работоспособности ВВ;

$$e = A_{\text{эт}} / A_{\text{ВВ}}$$

где $A_{\text{ВВ}}$ – идеальная работа взрыва принятого ВВ (табл. 3, 4), кДж/кг;

$A_{\text{эт}}$ – идеальная работа взрыва эталонного ВВ – аммонита 6ЖВ, 3561 кДж/кг;

k_w – коэффициент, учитывающий зажим породы;

$$k_w = \frac{3 \cdot l_{\text{шп}}}{\sqrt{S}}$$

где $l_{\text{шп}}$ – длина шпура, м;

S – площадь забоя, м².

k_c – структурный коэффициент, (табл.7).

Таблица 6. Удельный нормальный расход ВВ

Коэф. крепости пород	Породы	Удельный расход условного ВВ, кг/м ³
15-20	Очень крепкие породы (граниты, гнейсы, базальты, кварцитовые песчаники, филлиты, известняки, песчаники и др.)	1,2-1,5
10-14	Плотные граниты, кварцитовые песчаники, диориты, монолитные мелкозернистые песчаники и известняки	1,0-1,1
7-9	Некрепкие граниты, плотные песчанки и известняки, колчеданы, крепкие мраморы, доломиты	0,7-0,9
4-6	Крепкие песчанистые и песчанисто-глинистые сланцы. Сланцевые и глинистые песчаники, мягкие песчаники и известняки.	0,4-0,6
2-3	Сланцы средней крепости, плотный мергель, слабые песчанистые сланцы	0,2-0,3
до 2	Слабые сланцы. уголь	0,15

Таблица 7. Структурный коэффициент пород

Типы пород	структурный коэффициент k_c
Вязкие, упругие, пористые породы	2,0
Дислоцированные с неправильным залеганием и мелкой трещиноватостью	1,4
Со сложным залеганием и меняющийся крепостью; с напластованием, перпендикулярным направлению шпура	1,3
Массивно-хрупкие	1,1
Монолитные средней крепости	1,0

Удельный расход ВВ в проходческих забоях, кг/м³

Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконом	Площадь сечения, м ²						
	менее 4	4-5	6-8	8-10	10-12	12-16	16-20
2-3	1,7	1,6	1,5	1,1	0,9	0,7	0,6
4-6	2,3	2,0	1,96	1,6	1,3	1,2	1,1
7-9	2,9	2,7	2,5	2,1	1,9	1,7	1,6
10-12	3,6	3,3	3,1	2,8	2,5	2,2	2,1
13-35	4,5	3,9	3,6	3,4	3,0	2,8	2,6
16-18	5,3	4,5	4,2	3,9	3,6	3,3	3,0
19-20	5,8	5,1	4,7	4,4	4,1	3,8	3,5

Примечание. В таблице приведен удельный расход ВВ для гранулита АС-8. При использовании других типов ВВ следует вводить поправочный коэффициент, равный отношению работоспособности гранулита АС-8 и работоспособности применяемого взрывчатого вещества: для детонита - М, скального аммонита - 1 и скального аммонита - 3 - 0,9, для гранулита А-4 - 1,05, для нафталита-1,25 и т.п.

Расход ВВ на одну заходку определяется из соотношения

$$Q_{\text{зар}} = q \cdot V_{\text{зах}}, \text{ кг}$$

где q – удельный расход ВВ, кг/м³.

$V_{\text{зах}}$ – объем заходки, м³.

$$V_{\text{зах}} = S \cdot l_{\text{шп}} \cdot \eta$$

где $l_{\text{шп}}$ – длина шпура, м;

η – коэффициент использования шпура (КИШ);

Средняя масса шпурового заряда

$$q_{\text{ср}} = \frac{\pi \cdot d_z^2}{4} \cdot l_{\text{шп}} \cdot k_z \cdot \Delta,$$

где d_z – диаметр заряда в шпуре, м;

$l_{\text{шп}}$ – длина шпура, м;

k_z – коэф. заполнения шпура 0,5-0,85;

Δ – плотность ВВ, кг/м³.

$$\text{Количество шпуров в забое } N = \frac{Q_{\text{зар}}}{q_{\text{ср}}}.$$

Наиболее часто расчет количества шпуров в забое ведется на основе формулы проф. М.М. Протодяконова, связывающей коэффициент крепости пород и площадь забоя

$$N = 2,7 \sqrt{f \cdot S},$$

где f – коэффициент крепости пород;

S – площадь забоя, м².

Данная формула хороша для расчета количества шпуров в средних по крепости породах, при расчете количества шпуров в мягких и очень крепких породах результат расчета необходимо проверить на выполнение неравенства $0,70 \text{ м}^2 > S/N > 0,14 \text{ м}^2$.

- **рассчитывают линию наименьшего сопротивления и расстояние между шпурами**
Линия наименьшего сопротивления (обычно 0,5-0,8 м)

$$W = d_z \sqrt{\frac{0,786 \cdot k_z \cdot \Delta}{m \cdot q}},$$

где d_z - диаметр заряда в шпуре (при патронированных ВВ меньше диаметра шпура при $f=3-20$ соответственно на 7-11 мм), м;

k_z – коэф. заполнения шпура;

Таблица 8. Коэффициенты заполнения шпуров по СНИП 3.03.02-84 при использовании патронированных ВВ в шахтах, неопасных по газу и пыли

Вид выработок, диаметр патрона, мм	Коэффициенты заполнения шпуров при прочности пород, МПа (по ГОСТ 25100—82)	
	от 30 до 90	от 91 до 200
Вертикальные: 32; 36; 40 45	0,4 - 0,5 0,35 - 0,45	0,5 - 0,65 0,45 - 0,5
Горизонтальные и наклонные: 24; 28 32; 36 40	0,35 - 0,7 0,3 - 0,6 0,3 - 0,5	0,75 - 0,85 0,6 - 0,85 0,5 - 0,75

Δ – плотность ВВ, кг/м³;

m – коэффициент сближения зарядов;

f	10	12	14	16	18	20
m	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4

q – удельный расход ВВ, кг/м³.

Расстояние между шпурами, м

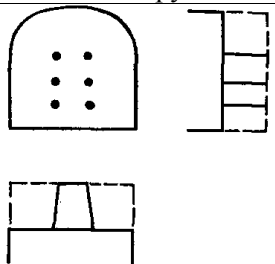
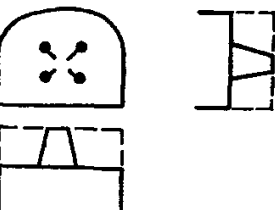
$$a = W \cdot m$$

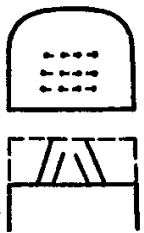
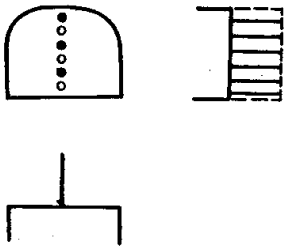
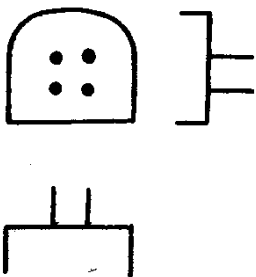
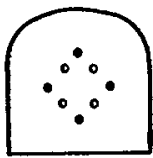
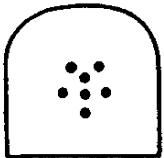
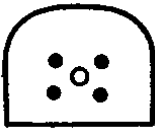
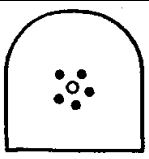
- выбирают тип вруба и рассчитывают количество шпуров по группам

По принципу действия врубы разделяются на **отрывающие** (клиновые, пирамидальные), в которых шпуры наклонены к оси выработки и **разрушающие** (прямые, призматические, щелевые) с ориентировкой шпуров параллельно оси выработки.

На основе практических данных установлена **область применения различных врубов**: в **массивных породах** наиболее эффективным является **пирамидальный вруб** в центральной части забоя. **клиновый вруб** применяют в **слоистых породах**. **Прямые врубы** (щелевой и призматический) могут применяться в **выработках малых сечений и длине заходки**.

Таблица 9. Условия применения врубов

Тип вруба	Схема вруба	Характеристика и условия применения
Вертикальный клиновой вруб		Состоит из 4—10 шпуров. Применяют в однородных породах любой крепости при вертикальном направлении трещиноватости или напластования в горизонтальных и наклонных выработках с площадью сечения более 6 м ² . Угол наклона к плоскости забоя 65-70°. Глубина заходки 1,5-2,2 м., длина врубовых шпуров 1,8-2,6 м.
Горизонтальный клиновой вруб		При горизонтальном напластовании пород. В выработках с площадью сечения более 4 м ² . Угол наклона к плоскости забоя 65-75°. Глубина заходки 1,5-2,0 м., длина врубовых шпуров 1,8-2,6 м.
Пирамидальный вруб		Число шпуров 4, располагаются в виде четырехгранной пирамиды. Применяется в плотных монолитных крепких, реже в слоистых крепких породах при проведении горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок. Угол наклона к плоскости забоя 65-75°. Глубина заходки 1,5-2,0 м., длина вру-

		бых шпуров 1,8-2,6 м.
Двойной клин- вой вруб		Состоит из 4—6 шпуров вспомогательного вруба и 4—10 шпуров основного вруба. Шпуры вспомогательного вруба имеют глубину около половины глубины основных шпуров. Применяется по особо крепким монолитным породам, позволяет применить шпуры большой глубины в горизонтальных и наклонных выработках
Щелевой вруб		Шпуры вруба располагаются в один ряд на расстоянии 10—20 см друг от друга, заряжаются через один, взрывают одновременно, незаряженные шпуры исполняют роль дополнительных обнаженных поверхностей. Применяется в породах крепких или средней крепости, а также при наличии прослойка более мягкой породы, в выработках любого сечения. Щелевой вруб может быть на всю высоту выработки или только на ее часть. Длина врубовых шпуров 2,5-4,0 м.
Призматический вруб		Состоит из 3—5 шпуров, образующих трех-пятигранную призму. Применяется в породах монолитных средней крепости, слабых и в угольных забоях горизонтальных и наклонных выработок шахт. Расстояние между врубовыми шпурами 10-20 см, Длина врубовых шпуров 2,5-4,0 м.
Крестообразный вруб		Состоит из 8 шпуров, расположенных по углам двух четырехгранных призм. Шпуры, расположенные по углам меньшей призмы, не заряжаются. Расстояние между шпурами 10 — 20 см. Применяется в породах крепких и очень крепких монолитных при проведении горизонтальных и наклонных выработок.
Спиральный вруб		Состоит из 5—10 шпуров, расположенных по спирали и пробуренных перпендикулярно забою выработки. Расстояние между шпурами увеличивается по спирали от 8—15 до 30—50 см. Заряжаются все шпуры, кроме центрального. Применяется в горизонтальных и наклонных выработках малой площади сечения (меньше 3,5 м ²) в породах монолитных крепких и весьма крепких, или с напластованием параллельным забоем.
Призматический с центральной скважинной		Состоит из 4 шпуров и центральной незаряжаемой скважины. Расстояния от всех шпуров до скважины одинаковы. Применяется при проведении горизонтальных и наклонных выработок в крепких трудно-взрывае-мых породах.
Спиральный с центральной скважинной		Состоит из 4—6 шпуров и центральной незаряжаемой скважины. Расстояние между шпурами и скважиной увеличивается по спирали. Применяется при проведении горизонтальных и наклонных выработок в крепких и весьма крепких трудновзрывае-мых породах.

Врубы отрывающей группы более распространены, но их глубина лимитируется шириной выработки (В):

$$l_{вр} = (0,5 - 0,9)B,$$

Ориентировочная глубина шпура (заходки) при клиновом врубе определяется из условия размещения бурового оборудования

$$l_3 = \frac{B}{4 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

где В – ширина выработки, м;

α - угол наклона врубовых шпуров, °.

Количество врубовых шпуров при клиновом врубе

$$N_{вр} = \frac{2h}{a} + 2$$

где h - высота (длина) вруба, м;

a – расстояние между парами врубовых шпуров, м.

Расстояние между устьями врубовых шпуров

$$a_{вр} = \frac{2l_3}{\operatorname{tg}\alpha} + 0,2$$

где l_3 - величина заходки, м;

α - угол наклона врубовых шпуров, °.

Таблица 10. Рациональные параметры клиновых врубов в различных группах пород

Группа крепости пород по СНИП	Коеф. крепости пород	Расстояние между парами сходящихся шпуров, м	Угол наклона врубовых шпуров, град	Значение коеф. С
IV-V	1-6	0,5	70	9
VI	6-8	0,45	68	8
VII	8-10	0,40	65	7
VIII	10-13	0,35	63	6
IX	13-16	0,30	60	5
X	16-18	0,25	58	4
XI	20	0,20	55	3

Длина врубового шпура

$$l_{вр} = l_{шп} / \sin\alpha$$

где $l_{шп}$ - длина шпура, м;

α - угол наклона врубовых шпуров, °.

Шпуры разрушающей группы позволяют осуществлять заходки большей величины:

$$l_{вр} = (1,1 - 1,3)B.$$

Минимальное расстояние между шпурами, при котором образуется щель

$$a_{щ} = c \cdot d_3 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{e \cdot \rho_{п}}}$$

где c – коеф. акустической жесткости взрывающей породы, (табл. 10);

d_3 - диаметр заряда в шпуре, м;

ρ – плотность заряжения, кг/м³;

e – коэффициент работоспособности ВВ;

ρ – плотность породы, кг/м³.

Количество врубовых шпуров при щелевом врубе

$$N_{\text{вр}} = \frac{2h}{a_{\text{щ}}} + 1$$

где $h_{\text{щ}}$ – высота (длина) вруба $h_{\text{щ}} = 1,4W$, м;

$a_{\text{щ}}$ – расстояние между шпурами щелевого вруба, м.

Количество врубовых шпуров при прямых врубах определяется опытным путём взрыванием зарядов в забое при этом расстояние между шпурами принимают от $2d_{\text{шп}}$ до $(5-6)d_{\text{шп}}$, расстояние между незаряжаемыми и первыми заряжаемыми шпурами рекомендуется устанавливать в $1,5-2,0 d_{\text{н.шп}}$ (диаметра незаряжаемого шпура).

Длина врубового шпура при прямых врубах принимается на 20-30 см больше средней длины шпура.

После выбора типа и размеров вруба отбойные и оконтуривающие шпуры располагают равномерно по всей оставшейся площади забоя.

Число оконтуривающих шпуров

$$N_{\text{ок}} = \frac{P}{a} - 1$$

где P – периметр выработки, м;

a – расстояние между оконтуривающими шпурами, м.

Расстояние между шпурами принимают равным:

- для отбойных шпуров $a = W \cdot m = 0,6-1,2$ м.

где m – коэффициент сближения зарядов.

- для оконтуривающих шпуров $a = W = 0,6-0,8$ м.

Число отбойных шпуров

$$N_{\text{от}} = N - (N_{\text{вр}} + N_{\text{ок}})$$

- по полученным данным строят схему расположения шпуров

После определения количества шпуров на забое выработки необходимо составить **схему размещения шпуров на забое** горной выработки. При размещении шпуров следует учитывать следующие правила:

- 1 – шпуры размещаются по площади забоя относительно равномерно, чтобы была обеспечена равномерная работа каждого шпура;
- 2 – минимальное расстояние между зарядами должны быть таким, чтобы исключалась возможность детонации;
- 3 – размещение шпуров должно обеспечивать отбойку породы в контурах выработки согласно проекта с наибольшим КИШ;
- 4 – необходимо обеспечить равномерное дробление породы до необходимой крупности кусков.

Оконтуривающие шпуры располагают на расстоянии от контура выработки при коэф. крепости пород $f < 16$ на 15-25 см и при $f \geq 16$ на 10-15 см.

- находят расход ВВ и СВ строят схему заряда ВВ в шпуре

ВВ распределяется по шпурам в соответствии с их назначением:

масса зарядов в отбойных шпурах $q_{\text{отб}} = q_{\text{ср}}$, врубовых шпурах $q_{\text{вр}} = (1,1 - 1,2)q_{\text{ср}}$, оконтуривающих шпурах $q_{\text{ок}} = (0,8 - 0,9)q_{\text{ср}}$.

При использовании патронированных ВВ находится количество патронов в шпуре по группам

$$n = q/q_n$$

где q_n - масса патрона ВВ (табл. 11), кг.

Таблица 11. Размеры и масса патронов ВВ

Диаметр патрона, мм	Длина патрона, мм	Масса ВВ, гр
24	210-250	100
28	220-260	150
32	220-265	200
36	250-255 240-320	250 300
40	270-320	400

Фактический расход ВВ, кг:

- для гранулированного ВВ $Q_\phi = q_{вр}N_{вр} + q_{отб}N_{отб} + q_{ок}N_{ок}$

том числе: на патроны боевики $q_{п.б} = q_n \cdot N$

гранулированного ВВ $q_{гр} = Q_\phi - q_{п.б.}$

- для патронированного ВВ $Q_\phi = q_n(n_{вр}N_{вр} + n_{отб}N_{отб} + n_{ок}N_{ок})$