

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»

С.Ю. Нестерова

**ГОРНАЯ КРЕПЬ
ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК
ШАХТ И РУДНИКОВ**

Учебное пособие

Издательство
Пермского национального исследовательского
политехнического университета
2018

УДК 622.016.222
ББК 33.01
Н56

Рецензенты:
д-р техн. наук, профессор *С.С. Андрейко*
(Пермский национальный
исследовательский политехнический университет);
канд. техн. наук *Г.Я. Кошев*
(Березниковский филиал Пермского национального
исследовательского политехнического университета)

Нестерова, С.Ю.

Н56 Горная крепь подземных выработок шахт и рудников: учебное пособие / С.Ю. Нестерова. – Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 55 с.

ISBN

Изложены общие сведения о крепежных материалах, видах и конструкциях крепи подземных горных выработок шахт и рудников.

Предназначено для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», осваивающих дисциплину «Основы горного дела» (модуль «Строительная геотехнология»).

УДК 622.016.222
ББК 33.01
Н56

ISBN

© ПНИПУ, 2018

Оглавление

Введение	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КРЕПЁЖНЫХ МАТЕРИАЛАХ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ	5
Лесные материалы.....	6
Металл	11
Вяжущие вещества	14
Растворы и бетоны	16
Железобетон.....	19
Каменные материалы.....	19
Полимерные материалы.....	20
2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КРЕПЯХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ. КЛАССИФИКАЦИЯ КРЕПЕЙ	23
3. КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СМЕШАННЫХ РАМНЫХ КРЕПЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.....	25
4. КОНСТРУКЦИИ МЕЖРАМНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ	30
5. КОНСТРУКЦИИ КРЕПИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ МОНОЛИТНЫХ БЕТОННЫХ И СПЛОШНЫХ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КРЕПЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК.....	35
6. КОНСТРУКЦИИ АНКЕРНОЙ КРЕПИ	40
Общие сведения.....	40
Виды анкерной крепи для шахт и рудников	41
Виды анкерной крепи для калийных рудников ВКМКС	47
7. КОНСТРУКЦИИ ВРЕМЕННЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КРЕПЕЙ	50
Контрольные вопросы.....	54
Список использованной литературы.....	55

ВВЕДЕНИЕ

Все работы, выполняемые с целью добычи полезных ископаемых (ПИ) на различных стадиях разработки месторождений полезных ископаемых (МПИ), называют **горными работами** [1].

В результате горных работ в толще ПИ или в пустых породах образуются искусственные полости – **горные выработки**.

Горные выработки используются для:

- размещения в них горных машин и оборудования;
- транспортирования добытого ПИ и пустых пород;
- доставки к месту работы материалов;
- для передвижения людей и циркуляции воздуха;
- для прокладки электрических кабелей, а также различных по назначению трубопроводов (для водоотлива, для подачи сжатого воздуха);
- и др. целей.

Горные выработки, проведенные в недрах Земли, независимо от того, имеют они выход на поверхность или нет, называются подземными.

До проведения горной выработки породы в нетронутым массиве испытывают воздействие веса толщи вышележащих пород и находятся в состоянии *напряженного равновесия*, т.е. давление вышележащих пород на некоторый элементарный объем («кубик») уравновешено силами сопротивления нижележащих пород [1].

При проведении в массиве горной выработки равновесие нарушается. При этом в породах вокруг выработки происходит перераспределение и изменение напряжений. Нарушение исходного (*природного, существовавшего до начала горных работ*) напряженного состояния происходит в результате смещений пород вокруг выработки. Наибольшие смещения происходят на контуре выработки и вблизи него. Основные смещения массива происходят по направлениям перпендикулярным контуру выработки: кровля опускается, почва поднимается, бока выработки сближаются из-за горизонтальных смещений навстречу друг другу. По мере удаления в массив смещения затухают. Из-за неравномерности смещений массив горных пород деформируется: сжимается, растягивается, изгибается, сдвигается.

Для предотвращения обрушения кровли и стенок, пучения почвы, а также сохранения необходимых формы и размеров горной выработки для ее рабочего состояния необходимо возведение в выработке искусственного сооружения – **горной крепи**.

От правильного выбора крепи для конкретных горно-геологических условий и качества ее возведения зависит способность крепи воспринимать горное давление. От этого напрямую зависит устойчивость выработки, и, следовательно, обеспечение безопасных условий ее эксплуатации в течение всего срока службы.

Требования к горной крепи: достаточная прочность (*способность выдерживать давление горных пород, не разрушаясь в течение всего срока ее службы*); огнестойкость, стойкость против коррозии и гниения (*в отдельных случаях сейсмостойкость, морозоустойчивость и т.п.*); ремонтпригодность (*в т.ч. легкая и удобная разборка – сборка при ремонте*); транспортабельность; минимальный коэффициент аэродинамического сопротивления; минимум трудовых и материальных затрат на установку, эксплуатацию и ремонт.

Всем перечисленным требованиям не удовлетворяет ни одна крепь. Поэтому при выборе крепи решающим фактором является ее соответствие конкретным горно-геологическим условиям.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КРЕПЁЖНЫХ МАТЕРИАЛАХ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Крепёжными материалами называют материалы, применяемые для изготовления горных крепей. Для крепления горных выработок применяют дерево, металл, железобетон, естественные и искусственные камни, стеклопластики, различные синтетические смолы и другие полимерные материалы. Наиболее широко используют металлы, бетоны и железобетоны. Материалы, применяемые для крепления горных выработок и подземных сооружений, должны соответствовать требованиям стандартов и определенным техническим условиям.

Крепёжные материалы должны удовлетворять следующим основным требованиям: иметь высокую прочность; обладать стойкостью против гниения и коррозии, быть огнестойкими, морозостойкими и водонепроницаемыми; иметь сравнительно небольшую массу; не быть дефицитными, быть технологичными и удобными в изготовлении и обработке; иметь невысокую стоимость.

Горные крепи воспринимают те или иные нагрузки и подвергаются воздействию окружающей среды. Поэтому крепёжные материалы должны обладать необходимой прочностью, а также способностью сопротивляться физическим и химическим воздействиям среды: воздуха, воды и растворенных в ней веществ, колебаниям температуры и влажности.

Все свойства крепёжных материалов по совокупности признаков подразделяют на *физические, химические и технологические*. основными физическими свойствами являются плотность, объемная масса, пористость, влажность, прочность при одноосном сжатии (растяжении), изгибе и кручении, деформируемость под нагрузкой (модуль упругости, модуль сдвига, коэффициент Пуассона и др.). Химические свойства оценивают главным образом показателями стойкости материалов при действии воды и воздуха, содержащих минералы, соли и другие вещества, которые вызывают обменные реакции в материале и его разрушение. Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться обработке при изготовлении из него крепи.

Свойства материалов оценивают числовыми показателями, устанавливаемыми путем испытаний в соответствии со стандартами и технологическими условиями. В зависимости от сферы действия *стандарты могут быть межгосударственными (ГОСТ, ТУ, СП) и отраслевыми (ОСТ)*.

Для изготовления горных крепей применяют обычные материалы, на которые установлены государственные стандарты.

Крепёжные материалы подразделяют:

– *по использованию в конструкции крепи* – на основные, применяемые в несущих элементах крепи (металл, дерево, бетон, железобетон, естественные и искусственные камни, пластмассы и др.), вяжущие, служащие для приготовления растворов, бетонов и пластмасс (цементы, известь, смолы и др.), и вспомогательные (водоизоляционные материалы, химические реагенты и др.);

– *по сроку службы в выработках* – на долговечные (бетон, железобетон, металл и др.) и недолговечные (дерево);

– *по степени сопротивляемости действию огня* – на огнестойкие (бетон, естественные камни), полуогнестойкие (пластмассы, металл), сгораемые (дерево);

– *по характеру деформации под нагрузкой* – на хрупкие (бетон, камни и др.) и упругопластические (металл и др.).

Важным техническим показателем всех конструктивных материалов, в том числе крепежных, является *коэффициент конструктивного качества материала*. Этот коэффициент определяют соотношением прочности (временного сопротивления) материала к его объемной массе. В таблице 1 приведены технические показатели отдельных крепежных материалов [2].

Таблица 1.

Технические показатели отдельных крепежных материалов

Материал	Объемная масса, кг/м ³	Модуль упругости $E \cdot 10^{-4}$, МПа	Временное сопротивление, МПа		Коэффициент конструктивного качества материала при растяжении (при сжатии)
			растяжению	сжатию	
Сталь 30ХГС	7850	21	1100	1100	140
Сталь 36Г2С	7850	21	800	800	102
Ст5	7850	21	600	500	64
Ст3	7850	21	380	380	48
Сосна (при стандартной влажности 15%)	530	1,1	120	40	200 (67)
Дуб	720	1,1	145	52	180 (65)
Ель	460	1,1	140	40	250 (73)
Бетон	2200	2	2	30	0,9 (13)
Ткань жгутовая стеклянная ТЖС-07	800	5	250		140 (-)
Стекловолокнистый анизотропный материал (СВАМ) трубчатый: без опрессовки / с опрессовкой	1800/1890	2,5/3	-/-	160/352	- (89)/ - (186)

Крепежные материалы выбирают в зависимости от конструкции крепи, назначения и срока службы выработки и условий работы крепи, а также с учетом экономической целесообразности. Надежность и эффективность крепления горных выработок в большой мере зависят от стоимости крепежных материалов при их изготовлении и транспортировании. Снижение материалоемкости крепей благодаря применению более прогрессивных материалов и повышению качества их изготовления является важным направлением повышения эффективности работы горных предприятий страны.

Лесные материалы

Лесоматериалы довольно широко применяют для крепления горных выработок. Древесина имеет довольно высокую прочность, сравнительно небольшую объемную массу, легко обрабатывается и её первоначальная стоимость невысока. Основные недостатки дерева – огнеопасность, недолговечность в связи с подверженностью гниению, особенно в подземных условиях, невозможность многократного использования, значительная изменчивость показателей прочности и высокая влажность в свежесрубленном состоянии (до 80%). Вследствие гниения срок службы деревянной крепи в среднем составляет всего 2-3 года, а в выработках с исходящей вентиля-

ционной струёй и повышенной влажностью – менее 1 года. В связи с этим объемы крепления горных выработок деревянной крепью в последние годы довольно быстро снижаются. Основной областью её применения являются прочие выработки со сроком службы 1-2 года.

Для крепления горных выработок применяют в основном хвойные породы леса: сосну, ель, лиственницу, кедр, пихту, реже – лиственные (дуб, бук, березу и др.).

Плотность древесины изменяется незначительно, так как древесина всех деревьев состоит в основном из одного и того же вещества – целлюлозы. Поэтому среднюю плотность древесины можно принять равной 540 кг/м^3 .

Объемная масса древесины разных пород и даже древесины одной и той же породы колеблется в весьма широких пределах, поскольку строение и пористость растущего дерева зависит от почвы, климата и других природных условий. Древесина может быть очень мягкой – объемная масса 540 кг/м^3 (кедр, пихта), легкой – объемная масса $460-600 \text{ кг/м}^3$ (сосна, ель, осина), со средней объемной массой $610-750 \text{ кг/м}^3$ (лиственница, дуб, береза), тяжелой с объемной массой $760-900 \text{ кг/м}^3$ (граб, железное дерево) и очень тяжелой с объемной массой более 910 кг/м^3 (самшит, кизил и др.).

Пористость древесины хвойных пород колеблется от 46 до 81%, лиственных – от 32 до 80 %.

Влажность свежесрубленной древесины составляет от 35 до 80%, в среднем для сосны – 40%, ели – 45%, пихты – 37%, лиственницы – 26%, дуба – 30%.

Объемная масса и пористость древесины некоторых хвойных и лиственных пород приведены в таблице. 2.

Таблица 2

Объемная масса и пористость

Порода дерева	Объемная масса древесины, кг/м^3		Пористость, %
	при 15 %- ной влажности	свежесрубленной	
Сосна	530	860	53-70
Ель	460	790	62-75
Лиственница	680	840	46-73
Кедр	440	880	60-80
Пихта	390	800	55-81
Дуб	720	1030	32-61
Береза	640	880	50-61
Бук	650	950	40-70
Осина	500	760	62-80

Прочность древесины (сопротивление сжатию, растяжению, изгибу) зависит от породы дерева, влажности, строения.

В таблице 3 приведено среднее значение показателей прочности древесины при 15%-ной (стандартной) влажности.

Предел прочности древесины на сжатие вдоль волокон в 4-6 раз больше, чем поперек волокон, при растяжении вдоль волокон она в среднем в 2,5 раза превосходит соответствующий предел прочности на сжатие.

Предел прочности элементов древесной крепи (верхняка и стоек рамы) в значительной мере зависит от их размеров. В таблице 4 приведены фактические прочностные показатели крепежных деревянных стоек различной длины и диаметра.

Таблица 3

Средние величины прочности древесины при 15 % влажности

Порода дерева	Предел прочности, МПа				
	на сжатие вдоль волокон	при растя- жении вдоль волокон	при статиче- ском изгибе	при скалывании в направлении	
				радиальном	тангенциальном
Сосна	44	115	79	7	7,5
Лиственница	52	129	97	11,5	12,5
Ель	42	122	77,5	5	5
Кедр	35	78	64,5	5,5	6
Пихта	33	84	58,5	6	6,5
Дуб	52	129	94	8,5	10,5
Береза	45	120	100	8,5	11

Таблица 4

Показатели прочности элементов деревянной крепи

Длина стойки, м	Средний диаметр стойки, мм	Влажность древесины, %	Средний предел прочности на сжатие, МПа	
			при фактиче- ской влажности	приведенный к стандартной влажности (15 %- ной)
Сосновые стойки				
0,61	80-110	27,4	20,4	32,6
0,9-0,11	100-120	11,5-15,5	27,1	24,8
2,2-2,5	105-200	18,4	17,1	20,2
1,1-1,2	110-190	16-18	28,7	33
2,3-2,8	180-230	16-18	14,6	16,8
2,8-3,0	170-240	18-20	17,3	20,8
В среднем:			20,8	24,7
Еловые стойки				
2,3-2,5	150-200	22,9	15,2	20
0,61	90-110	22	19,7	25,1
В среднем:			17,5	22,6

Пороки древесины значительно снижают её прочность. Пороками древесины называют различные неправильности её строения или внутренние повреждения, а также заболевания, делающие её непригодной для изготовления крепи. К порокам древесины относят сучки, трещины, неправильность формы и строения древесины (сбежистость, т.е. уменьшение диаметра круглых лесоматериалов от толстого к тонкому концу; закомелистость и кривизна ствола; наклон волокон), грибные поражения, повреждения насекомыми, т.е. червоточина; ненормальная окраска и тр. Неестественные окраски возникают в срубленном дереве в результате химических и биохимических процессов, в большинстве случаев вызывающих окисление дубильных веществ. Бывают светлые и темные химические окраски, они не влияют на физико-механические свойства древесины.

Гниль, развивающаяся в растущем дереве под действием дереворазрушающих грибов, существенно ухудшает механические свойства и сортность древесины. Про-

цесс разрушения может развиваться не только в сырой, но и в относительно сухой древесине.

Гниение – разложение целлюлозы древесины вследствие деятельности дереворазрушающих грибов и микроорганизмов. Поражающие древесину грибы весьма разнообразны. Питательной средой для дереворазрушающих грибов является растворимый сахар (глюкоза), являющийся продуктом разлагаемой ими целлюлозы.

Предохранение древесины от загнивания и продления срока службы достигается путем защиты древесины от увлажнения, окраской или обмазкой, выщелачиванием и пропиткой древесины антисептиками. Основным способом борьбы с гниением является химический – введение в древесину антисептиков, т.е. веществ, ядовитых для грибов. Антисептики должны быть безвредными для людей и животных, не выщелачиваться из пропитанной древесины, не иметь запаха и вредных газов при высыхании, быть не способными к горению, а при горении не выделять вредных газов и густого дыма. Для защиты дерева от грибка его пропитывают 2-4%-ным раствором фтористого натрия, который легко проникает в древесину, но не горит и не имеет запаха. Хлористый цинк обладает теми же свойствами, что и фтористый натрий, но легко выщелачивается при наличии воды. Кремнефтористый натрий применяют для пропитки дерева только в виде горячих растворов, так как в холодных растворах он плохо проникает в древесину.

Фтористый натрий – технический белый порошок без запаха, не изменяющий цвет древесины. Он обладает высокой токсичностью по отношению к дереворастущим грибам и насекомым.

Пропитку антисептиками проводят вымачиванием дерева в ванне или под давлением в специальных котлах-автоклавах. Пропиткой антисептиками можно увеличить срок службы деревянной крепи и других деревянных конструкций в 2-3 раза. Срок службы крепежного леса увеличивается также благодаря его высушиванию. Обычно крепежный лес высушивают при длительном его хранении на открытом воздухе в штабелях, защищенных крышей. Лес складывают таким образом, чтобы ветер мог его продувать.

Для защиты дерева от возгорания его пропитывают огнезащитными химическими растворами или производят окраску дерева огнезащитной пастой. Температура воспламенения древесины 250-300 °С в зависимости от породы дерева. Огнезащитные средства не обеспечивают полной огнестойкости дерева и только снижают его возгораемость.

Для изготовления крепи необходимо по возможности применять сухой лесоматериал. Допустимое содержание влаги для хвойных пород деревьев – 10-12%, для лиственных – 14-15%. У свежесрубленной древесины влажность в среднем составляет 40%.

Сортамент крепежных лесоматериалов представлен на рисунке 1. В качестве крепежного материала применяют лесо- и пиломатериалы. К круглым лесоматериалам относятся бревна, подтоварник, стойки, к пиломатериалам – распилы (пластины), брусья, доски, обалолы (горбыли).

Наиболее широко для крепления выработок применяют стойки и обалолы.

Бревна – отрезка ствола дерева 5-9 м и толщиной в верхнем торце 120 мм и больше.

Подтоварник – круглый лесоматериал длиной 3-9 м и толщиной в верхнем торце 80-110 мм.

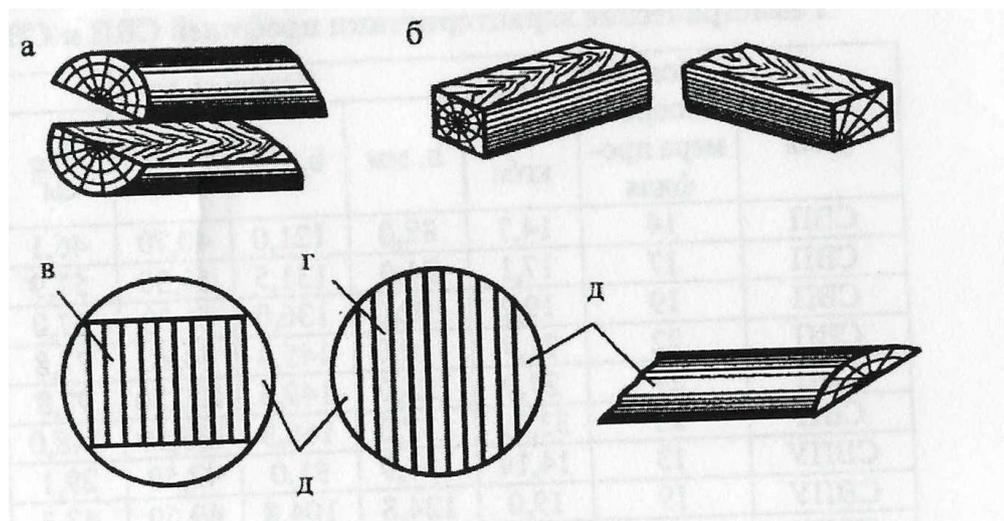


Рис. 1. Сортамент пиленых материалов

Рудничные стойки – круглый лесоматериал длиной 0,5-5 м и толщиной в верхнем торце 70-300 мм. Отклонения длины стоек допускается в размере ± 20 мм, диаметра – 5 мм для стоек толщиной до 110 мм (включительно) и ± 10 мм для стоек толщиной 120 мм и более.

Распилы – стойки, распиленные пополам вдоль продольной оси (рис. 1, а). Распилы в готовом виде лесной промышленностью не поставляются. Обычно их изготавливают на шахтах из рудничных стоек, бревен и подтоварника соответствующих размеров. Качество древесины, идущей на распилы (на шахтах их обычно называют однорезками), должно соответствовать техническим условиям на рудничную стойку.

Брусья – пиломатериалы, толщина которых равна ширине или более половины ширины, причем если толщина и ширина их составляют 100 мм и меньше, то их называют брусками. Стороны брусьев называют кантами. Различают брусья четырехкантные, у которых пропилены четыре стороны (рис. 1, б), и двухкантные, у которых пропилены только две стороны. Длина брусьев 1-6,5 м, поперечное сечение – от 130-130 до 250*250 мм. Брусья применяют для крепления шурфов, гезенков и других вертикальных выработок с небольшим сроком службы, для армирования стволов, а также для шпал рельсового пути. Бруска применяют для изготовления лестниц, трапов, перил ходовых отделений, вентиляционных сооружений и других конструкций. Брусья для *расстрелов*, *вандрутов* и *проводников* обычно изготавливают на местах (на шахтах и рудниках).

Доски – пиломатериалы, ширина которых более двойной толщины. Доски получают путем распиловки брусьев или бревен. Доски могут быть обрезные (рис. 1, в), необрезные, у которых боковые кромки не спилены (рис. 1, г). Доски применяют для затяжки кровли и боков выработок с небольшим сроком службы, обычно подготовительных выработок со сроком службы не более 1,5-2 лет, а также для устройства кружал, опалубки, полков, обшивки ходовых отделений и перемычек.

Обаполы или горбыли – крайние части ствола дерева, распиленного на брусья или доски. Обапол может быть горбыльным, когда пропилен имеется только с одной стороны (рис. 1, д), и дощатым – с пропилом с двух сторон. Обаполы изготавливают обычно длиной 0,9-2,2 м, шириной 90-200 мм и толщиной 15, 20, 25 мм и используют в основном для затяжки кровли и боков выработок.

Металл

Металл является одним из наиболее эффективных крепежных материалов, так как обладает высокой прочностью, долговечностью, огнестойкостью без потери несущей способности, высоким коэффициентом конструктивного качества, хорошо поддается обработке, может быть многократно использован. Сталь является упруго-пластическим материалом, поэтому металлические крепы могут претерпевать существенные пластические деформации без потери несущей способности. После извлечения при погашении выработок и выправления деформированных элементов металлическая крепь может быть повторно использована для крепления выработок. Недостатками металла как крепежного материала являются подверженность его коррозии, которая особенно сильно проявляется в подземных условиях, и более высокая по сравнению с крепежным лесом стоимость.

Защиту металла от коррозии в горных выработках осуществляют покрытием его поверхности антикоррозийными красками, лаками, эмалями, цементно-песчаным раствором, уменьшением коррозионного действия окружающей среды. В качестве антикоррозийного покрытия металла применяют масляно-битумный лак, кузбасский лак, битум марки IV, который наносят на металл слоем 1,5 мм в расплавленном состоянии в смеси с глиной или без неё. Перед нанесением горячего битума металл прогрунтовывают раствором этого же битума в бензине. Покрытие металла цементно-песочным раствором (торкретирование) производят в шахтных условиях при помощи специального торкретаппарата непосредственно в выработке после установки крепи. Смесь цемента и песка (1:2 или 1:3) смешивают с водой и при помощи сжатого воздуха разбрызгивают торкретаппаратом по поверхности металла, образуя на нем защитный слой необходимой толщины.

На шахтах Кузнецкого бассейна в качестве антикоррозийного покрытия металла применяют кузбасский лак. Накопленный опыт показывает, что при доброкачественном покрытии им поверхности металлической крепи не наблюдается никаких признаков коррозии металла при сроке эксплуатации выработок более 20 лет.

Коррозионное действие среды на металл может быть уменьшено осушением выработок, снижением кислотности шахтных вод, улучшением проветривания, совершенствованием конструкции крепи (устранением резьбовых соединений элементов и др.).

Для изготовления крепи горной выработки применяют чугунное и стальное литье, прокатную сталь различных профилей и типоразмеров, сортовую сталь, а также готовые металлические изделия (метизы). Все сорта металлов и метизов, применяемые в качестве крепежного материала, должны удовлетворять требованиям соответствующих ГОСТов. Чугунное и стальное литье применяют в основном для тубингов, башмаков, фигурных накладок и других элементов крепи. Тубинги изготавливают обычно из серого чугуна (от СЧ12-38 до СЧ28-40), а при особо тяжелых условиях – из стали.

Для изготовления металлических рамных крепей наиболее широко применяют специальный желобчатый шахтный профиль проката СВП из горячекатаной стали Ст5 или слаболегированной стали шести типоразмеров: СВП-14, 17, 19, 22, 27 и 33, где цифра обозначает массу одного размера в килограммах.

В Тульском государственном университете разработан унифицированный шахтный профиль СВПУ (специальный взаимозаменяемый профиль унифицированный), отличающийся от обычного профиля СВП повышенным сопротивлением кручению и изгибу в плоскости поперечного сечения крепи. Профиль имеет четырнадцать типо-

размеров: СВПУ-7, 10, 13, 14а, 15, 17, 18а, 19, 22, 22а, 27, 27а, 33 и 35. Поперечное сечение профилей СВП и СВПУ представлено на рисунке 2. В таблице 5 приведены их геометрические характеристики.

Сходные стальные прокатные профили для горной крепи применяют за рубежом. Можно выделить два основных типа профиля: корытообразный (V-образный, рис. 2, в) и фасонный двутавровый *DJ* (рис. 2, г).

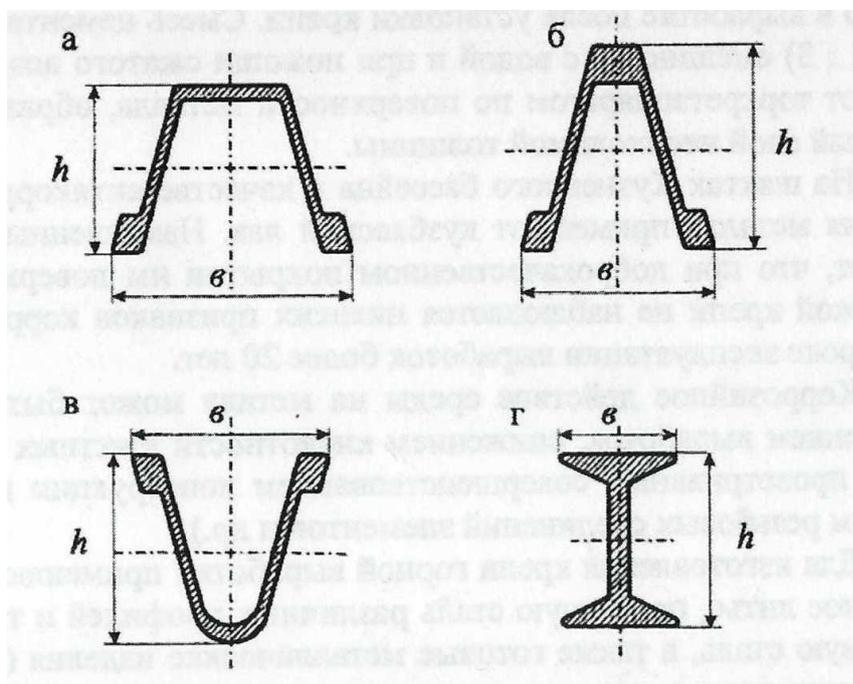


Рис. 2. Специальные взаимозаменяемые профили:
а – желобчатый (СВП); *б* – унифицированный (СВПУ);
в – корытообразный (V-образный); *г* – фасонный двутавровый *DJ*

При сравнении данных в таблице 5 видно, что по всем техническим данным профили СВПУ превосходят широко применяемые профили СВП. Замена профилей СВП на профили СВПУ обеспечит экономию проката не менее 25%.

Кроме специальных взаимозаменяемых профилей СВП при изготовлении металлических крепей применяют в значительно меньших объемах профили проката общего назначения – двутавровые балки, швеллеры, рельсы, равнобокие уголки и др.

Таблица 5

Геометрические характеристики профилей СВП и СВПУ

Тип профиля	Номер типоразмера профиля	Размеры, мм					
		G , кг/м	h , мм	b , мм	W_x , см ³	W_y , см ³	F , см ²
1	2	3	4	5	6	7	8
СВП	14	14,7	88,0	121,0	40,70	46,1	18,7
СВП	17	17,1	94,0	131,5	50,30	57,9	21,73
СВП	19	19,2	102,0	136,0	61,30	67,0	24,44
СВП	22	21,9	110,0	145,4	74,80	77,8	27,91
СВП	27	27,0	123,0	149,5	100,20	97,8	34,37
СВП	33	33,39	137,0	166,3	133,50	148,0	42,53

Окончание таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8
СВПУ	13	14,14	104,9	91,0	42,50	29,1	17,23
СВПУ	19	19	124,8	104,8	69,60	42,3	24,21
СВПУ	27	27,15	153,0	120,2	117,30	69,3	34,58
СВПУ	35	35,59	170,4	143,4	178,10	108,2	45,33
К	21	20,73	104,0	124,0	60,98	58,83	26,41
К	24	23,65	107,0	124,6	77,00	70,40	30,14
V	29	29,0	124,0	150,5	94,00	103,0	37,00
V	36	36,0	138,0	171,0	137,00	148,0	46,00
DJ	100	20,7	100,0	80,0	80,70	20,1	26,40
DJ	110	24,5	110,0	84,0	103,00	24,5	31,10

Профили проката общего назначения изготавливают из стали марки Ст3, специальные профили СВП – из стали марки Ст5 и в последнее время – из низколегированных сталей 20Г2АФ, 36Г2С и некоторых других марок. Для обозначения легирующих элементов в легированных сталях приняты следующие буквы: Х – хром, Н – никель, Г – марганец, С – кремний, В – вольфрам, М – молибден, Ф – ванадий, К – кобальт, Т – титан, Ю – алюминий, Д – медь, Ц – цирконий. Цифры, предшествующие буквам, обозначают содержание в стали углерода в сотых долях процента, а цифры, следующие за буквой – процентное содержание данного легирующего элемента. Буква А – во всех случаях указывает на высокое качество стали.

Механические характеристики и химический состав сталей, применяемый для изготовления крепей горных выработок, приведены в таблице 6.

Таблица 6

Механические свойства и химический состав сталей, применяемых для изготовления крепей горных выработок

Марка стали	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести (МПа) для толщины, мм				Относительное удлинение (%) для толщины, мм			Содержание элементов, %		
		до 20	20-40	40-100	свыше 100	до 20	20-40	от 40	углерода	марганца	кремния
Ст3кп	370-470	240	230	220	200	27	26	24	0,14-0,22	0,3-0,6	не менее 0,07
Ст3пс Ст3сп	380-490	250	240	230	210	26	25	23	0,14-0,22	0,4-0,65	0,05-0,17
Ст4кп	410-520	260	250	240	230	25	24	22	0,18-0,27	0,4-0,7	не более 0,07
Ст4пс Ст4сп	420-540	270	260	250	240	24	23	21	0,18-0,27	0,4-0,7	0,05-0,17
Ст5пс Ст5сп	550-640	290	270	270	260	20	19	17	0,28-0,37	0,5-0,8	0,15-0,35

Для армирования обычных и предварительно напряженных элементов железобетонных крепей горных выработок применяют горячекатаную гладкую и периодического профиля сталь и стальную проволоку периодического профиля. Арматурную горячекатаную сталь в зависимости от механических свойств подразделяют на клас-

сы: А-I, А-II, А-III, А-IV. Стержни арматурной стали класса А-I круглые, гладкие, стержни классов А-II, А-III, А-IV – периодического профиля.

Стержни периодического профиля арматурной стали А-II (марки Ст5, 18Г2С), имеют выступы, идущие по винтовым линиям с одинаковым заходом на обеих сторонах стержней. Стержни периодического профиля арматурной стали класса А-III (марки 2512С, 35ГС) и класса А-IV (марка 20ЧГ2Ц, 20ХГСТ и 80С) имеют выступы, идущие по винтовым линиям: с одной стороны стержня – правого захода, с другой – левого.

Расчетные сопротивления стержневой арматуры (для предельных состояний первой группы) приведены в СП 63.13330.2012 «Бетонные железобетонные конструкции» [3].

Холоднотянутую арматурную проволоку выпускают с гладкой поверхностью (классы В-I; В-II) и периодического профиля.

Для обозначения арматурной проволоки периодического профиля к букве «В» (волочная) добавляют букву «р» (рифленая): например Вр-I, Вр-II.

Расчетные сопротивления проволочной арматуры (для предельных состояний первой группы) приведены в СП 63.13330.2012/

Поверхность арматурной стали не должна иметь раковин, выбоин, царапин, следов обработки, окалины и смазки.

Вязущие вещества

Вязущими веществами (минеральными) называют порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют пластично-вязкое тесто, способное со временем самопроизвольно затвердеть в результате физико-химических процессов. Переходя из тестообразного в камневидное состояние, вязущее вещество скрепляет между собой камни, зерна песка, гравия, щебня. Это свойство вязущих используют для изготовления бетонов, силикатного кирпича, строительных растворов и т.п.

Вязущие вещества подразделяют на *воздушные*, затвердевающие и сохраняющие прочность на воздухе, и *гидравлические*, затвердевающие и сохраняющие прочность как на воздухе, так и под водой.

Для изготовления горной крепи применяют только гидравлические вязущие, так как она обычно работает во влажных условиях. Основными гидравлическими вязущими веществами являются различные цементы.

Цемент представляет собой тонко измельченный обожженный материал определенного минерального состава. Чем тоньше измельчен цемент, т.е. выше тонкость помола, тем лучше качество цемента и большая его связующая способность.

Густую смесь цемента с водой называют *цементным тестом*. Вследствие химического взаимодействия вязущего с водой с момента образования цементного теста начинает увеличиваться его плотность. Процесс при котором цементное тесто постепенно теряет пластичность, но еще не приобретает прочность, называют *схватыванием*. Срок схватывания обыкновенного цемента должен быть не менее 45 мин. и не более 12 ч. Процесс схватывания затем постепенно переходит в процесс набора прочности при этом механическая прочность теста непрерывно нарастает и в конечной стадии оно превращается в прочный цементный камень.

Предел прочности цемента называют *маркой цемента*. Марку цемента определяют в лабораторных условиях на прочность при изгибе образцов балочек размером 40*40*160 мм и сжатии половинок балочек, изготовленных за 28 суток до испытания из смеси, состоящей из одной части цемента (по массе), трех частей песка и не менее

0,4 части воды. Марку цемента обозначают М 200, М 300, М 400, М 500 и тому подобно, где буква «М» означает марку, число за буквой – предел прочности цемента на сжатие (в возрасте 28 суток) при единице измерения 100 кПа.

По минеральному составу и содержанию добавок различают следующие виды цементов, применяемых для изготовления крепи: портландцементы (обыкновенный, сульфатостойкий, гидрофобный, пластифицированный); шлако-портландцемент; пуццолановый портландцемент; расширяющиеся цементы; водонепроницаемый безусадочный цемент.

Портландцемент наиболее широко применяют в шахтном производстве и строительстве. Он представляет собой тонкий порошок серого цвета, полученный в результате совместного размолла клинкера и некоторого количества (3-5%) гипса. Клинкер – зернистый материал в виде порошка, полученный обжигом до спекания при температуре 1450 °С сырьевой смеси, состоящей из карбоната кальция (различных видов известняков) и алюмосиликатов (глин, мергеля, доменного шлака и др.). Небольшая добавка гипса регулирует сроки схватывания портландцемента.

Сульфатостойкий портландцемент применяют в тех случаях, когда требуется повышенная стойкость крепи против разрушающего действия шахтных вод. Его используют также для изготовления бетонов повышенной морозостойкости.

Пластифицированный портландцемент получают добавлением к портландцементу при помолле клинкера около 0,25% сульфато-спиртовой барды и других пластифицирующих органических веществ. Он позволяет получать более подвижные бетоны, обладающие высокой удобоукладываемостью, повышенной морозостойкостью и водонепроницаемостью.

Гидрофобный портландцемент получают введением в портландцемент при его помолле специальной гидрофобизирующей (слабо взаимодействующей с водой) поверхностно-активной добавки (мылонафт, асидол и др.). Содержащаяся в нем добавка оказывает пластифицирующее действие на бетонные или растворные смеси, а также уменьшает стойкость бетона.

Шлакопортландцемент получают совместным помолом клинкера портландцемента и доменного шлака или смешиванием тех же материалов, измельченных раздельно. Качество доменного шлака в шлакопортландцементе должно быть не менее 21 и не более 60% (от массы цемента). Доменные шлаки по своему химическому составу напоминают цементный клинкер. Шлакопортландцемент применяют для изготовления сботной железобетонной крепи. Бетон на таком цементе в воде и на воздухе, более устойчив против взаимодействия шахтных вод. Марка шлакопортландцемента – 200, 300, 400 и 500.

Пуццолановый портландцемент отличается от шлакопортландцемента только тем, что в качестве добавки используют не шлак, а особые активные минеральные вещества – трепел, пемзу, туф и др. Бетон на пуццолановом портландцементе твердеет в воде и во влажных условиях. На воздухе бетон на этом цементе дает большую усадку и в сухих условиях частично теряет прочность вследствие выделения воды. Кроме того, бетоны на пуццолановом цементе имеют низкую морозостойкость и не годятся для конструкций и сооружений, подвергающихся замораживанию и оттаиванию.

Глиноземистый цемент – быстротвердеющее и высокопрочное гидравлическое вяжущее средство, получаемое путем тонкого измельчения глиноземистых шлаков или клинкера, содержащего преимущественно глинозем. При твердении на воздухе он в отличие от обыкновенного портландцемента не дает усадку, которая является

одной из основных причин образования трещин в цементном камне. Замечательным свойством глиноземистого цемента является его быстрое твердение. В течение трех суток от набирает прочность 40, 50 и 60 МПа. Как известно, портландцемент приобретает такую прочность только через 28 суток нормального твердения. Стоимость глиноземистого цемента в 3-4 раза выше стоимости обыкновенного портландцемента. Поэтому его применяют в горном деле в небольших объемах.

Расширяющиеся цементы получают совместным помолом клинкера, глиноземистого цемента и гипса. Их применяют там, где требуется обеспечить водонепроницаемость крепи или стыков в ней. Такой цемент при растворении водой набирает прочность, увеличиваясь в объеме, самоуплотняется, чем обеспечивает водонепроницаемость. По сроку схватывания различают быстросхватывающийся (водонепроницаемый расширяющийся цемент ВРЦ) и с замедленным схватыванием (гипсоглиноземистый) расширяющиеся цементы. Начало схватывающегося цемента не ранее 4 мин, конец – не позднее 10 мин. Цемент с замедленным схватыванием должен иметь начало схватывания не ранее 20 мин, конец – не позднее 4 ч.

К расширяющимся цементам относят также *гипсоглиноземистый расширяющийся цемент, расширяющийся портландцемент (РПЦ), напрягающий цемент.*

Водонепроницаемый безусадочный цемент (ВВЦ) является быстросхватывающимся и быстротвердеющим вяжущим. Его получают путем смешивания тех же компонентов, что и при производстве расширяющихся цементов, но в других соотношениях. Начало схватывания этого цемента 1 мин, конец – 5 мин. Безусадочный цемент применяют при устройстве гидроизолирующей торкретбетонной оболочки крепи для прекращения фильтрации через нее воды.

Для крепления выработок набрызгбетоном созданы специальные виды сульфатостойкого быстросхватывающегося (2-5 мин) и быстро набирающего прочность цемента, при котором прочность бетона, равная 5-7 МПа, достигается в возрасте 2 ч. Применение такого цемента упрощает технологию возведения крепи, позволяет крепить обводненные выработки.

Тампонажный портландцемент изготавливают измельчением клинкера, гипса, добавок. Он предназначен для цементирования газовых и других скважин.

Силикатное бесцементное вяжущее по составу является известково-кремнистым. Компонентом этого вяжущего являются строительная известь и молотый песок. Данный вид вяжущего можно применить для изготовления в заводских условиях посадочных тумб, бетонитов и других элементов крепи.

Растворы и бетоны

Раствором называют смесь в определенных соотношениях одного или нескольких вяжущих веществ мелкого заполнения (песка) и воды.

При возведении горной крепи и других подземных работ обычно применяют цементно-песчаные растворы. Для горной крепи применяют растворы марок 50, 75 и 100. Растворы используют в пластичном состоянии при каменной кладке, торкретировании кровли и боков выработок, тампонировании пустот за крепью, для крепления анкеров и при выполнении других работ.

Важными характеристиками раствора являются его подвижность и удобоукладываемость, т.е. способность укладываться плотным слоем с заполнением неровностей. Для повышения удобоукладываемости иногда применяют специальные добавки-пластификаторы.

Растворы, содержащие два или несколько вяжущих веществ, называют смешанными. Одним из наиболее распространенных смешанных растворов является известково-цементно-песчаный.

При возведении крепи из естественных или искусственных камней обычно применяют цементно-песчаный раствор состава 1:3 (при марке цемента 300-400). При значительных притоках воды и большом горном давлении состав раствора 1:2 и даже 1:1. При небольшом объеме работ раствор приготавливают вручную, а при значительном объеме – в растворомешалках.

В последние годы у нас в стране и за рубежом (в Германии и др.) находят всё более широкое применение растворы (инъекционные, тампонажные и др.) для заполнения пространства за крепью капитальных горных выработок и упрочнения пород вокруг выработок. С помощью этих средств достигается резкое повышение несущей способности крепи и устойчивости выработок.

Бетоном называют искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердения смеси из вяжущих веществ, крупного и мелкого заполнителей и воды. До затвердевания эта смесь называется *бетонной смесью*.

Цемент и вода являются *активными составляющими бетона*, так как вследствие химической реакции между ними образуется цементирующее вещество, которое в процессе твердения прочно сцепляется с заполнителем. Песок и крупный заполнитель (гравий, щебень из прочных горных пород) называют *инертными составляющими*, так как они не вступают в химическую реакцию с цементом и водой.

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций крепей в зависимости от их назначения и условий работы следует устанавливать показатели качества бетона, основными из которых являются: класс по прочности на сжатие В; класс по прочности на осевое растяжение В_т; марка по водонепроницаемости W (должна назначаться для конструкций, к которым предъявляются требования ограничения водонепроницаемости).

Для бетонных и железобетонных конструкций крепи горных выработок можно предусматривать и использовать бетоны следующих классов и марок:

- *классов прочности на сжатие* – тяжелый бетон – В15; В20; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; мелкозернистый бетон – В15 – В60; легкий бетон при марках по средней плотности – В15-В40;
- *классов прочности на осевое растяжение* – тяжелый мелкозернистый и легкий бетоны – В1,2; В1,6; В2; В2,4; В2,8; В3,2;
- *марок по водонепроницаемости* – тяжелый, мелкозернистый и легкий бетоны – 2; 4; 6; 8; 10; 12.

Прочность бетона определяют по истечении 28 суток с момента его изготовления при наборе прочности в стандартных условиях.

Состав бетонной смеси обозначают соотношением масс входящих в неё компонентов I : II : III. Это означает, что на одну часть цемента по массе приходится две части песка и три части щебня или гравия. Для горной крепи наиболее часто применяют бетоны состава 1:2:3; 1:3:5; 1:4:6. Состав бетонной смеси довольно часто выражают в виде расхода (по массе) материалов на 1 м³ бетонной смеси. Например, на 1 м³ бетонной смеси для получения бетонной крепи класса по прочности В15 потребуется: цемента марки М 400-300 кг, песка – 600 кг, щебня – 1200 кг, воды – 180 л (всего 2280 кг материалов).

В зависимости от количества воды бетонная смесь бывает жесткой, пластичной и литой.

Жесткая бетонная смесь содержит 130-170 л воды на 1 м³ смеси. При использовании такой бетонной смеси необходимо усиленное её уплотнение – трамбование или вибрирование. При этом бетонная смесь разжижается, становится текучей и хорошо заполняет форму или запалубное пространство. По окончании вибрирования смесь становится твердой. Бетон из жесткой смеси не дает осадки конуса, обладает более высокой прочностью по сравнению с бетоном из пластичной и литой бетонных смесей аналогичного состава.

1 м³ *пластичной бетонной смеси* содержит 170-230 л воды. Она хорошо укладывается при слабом трамбовании.

1 м³ *литой бетонной смеси* содержит свыше 230 л воды. Она свободно растекается и укладывается в конструкции при слабом трамбовании и слабых ударах по опалубке.

Для крепления горных выработок применяют главным образом тяжелые цементные бетоны класса по прочности В12,5 и выше из жестких смесей. Пластичную бетонную смесь применяют в сильно армированных железобетонных конструкциях крепи, когда усиленным трамбованием можно повредить арматуру. Монолитную бетонную крепь применяют только при изготовлении центрифугированных конструкций крепи.

Прочность бетона зависит от многих факторов, основными из которых являются: тип и марка цемента и его расход на 1 м³ бетона; качества воды и инертных составляющих; условия схватывания и твердения бетона; *водоцементное отношение* В : Ц, т.е. отношение массы воды к массе цемента в бетонной смеси. Максимальное количество воды, необходимое для химической реакции с цементом, составляет 10-20 % его массы (В : Ц = 0,1 : 0,2).

Бетоны (для предельных состояний первой группы) на сжатие и растяжение, применяемые для изготовления горных крепей приведены в СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции» [3].

Специальные бетоны. В зависимости от условий работы крепи, её возведения или изготовления отдельных элементов зачастую применяют специальные бетоны. Основными из них являются водонепроницаемый бетон, набрызгбетон, сталебетон.

Водонепроницаемый бетон – бетон не пропускающий воду при давлении 0,2 МПа и выше.

Торкретбетон состоит из цемента, песчано-гравийного заполнителя с крупностью зерен не более 8 мм и воды. Его применяют в качестве временной и постоянной крепи в горизонтальных, наклонных и вертикальных выработках благоприятными условиями.

Для изготовления торкретбетона применяют цементы не ниже марки 300. Прочность, плотность, водонепроницаемость и сцепление с породой и арматурой у торкретбетона значительно выше, чем у обычного. Его состав по массе обычно принимают 1:2 – 1:4 (цемент-заполнитель).

Набрызгбетон отличается от торкретбетона тем, что он содержит заполнитель крупностью до 25 мм. Его наносят на поверхность выработки с помощью специальных пневматических машин.

Для изготовления набрызгбетона обычно применяют быстротвердеющие портланд- и шлакопортландцементы, гипсглиноземистые водонепроницаемые расширяющиеся и другие специальные цементы. Оптимальный расход специальных цементов на 1 м³ бетонной смеси находится в пределах 350-400 кг. Время схватывания набрызгбетона – 15-20 мин.

Для повышения прочности набрызгбетона в его состав довольно часто вводят измельченный металл (измельченную проволоку старых канатов и др.), фибр из кордовой нити (отходы шинного производства) и другие металлы. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о целесообразности и эффективности применения армированных набрызгбетонов.

Железобетон

Железобетоном называют материал, состоящий из бетона и введенной в него стальной арматуры. Железобетон обеспечивает крепи (конструкциям) высокую прочность на сжатие и изгиб, возможность изготовлять крепи сложной формы.

Арматуру подразделяют на рабочую, распределительную, монтажную и хомуты. *Рабочая арматура* служит для восприятия основных растягивающих или сжимающих напряжений. Количество её определяют расчетом, и в конструкции оно характеризуется *процентом армирования*, представляющим собой отношение общей площади сечения арматуры к площади поперечного сечения балки, замоноличенной бетоном. Для горной железобетонной крепи процент армирования обычно принимают от 0,5 до 1,5.

Распределительную арматуру укладывают перпендикулярно к рабочей. Она предназначается для восприятия местных дополнительных усилий и обеспечения совместной работы стержней рабочей арматуры. Монтажная арматура и хомуты необходимы для сборки арматурных каркасов восприятия растягивающих, сжимающих и перерезывающих усилий. Количество распределительной и монтажной арматуры обычно принимают по конструктивным соображениям.

Железобетон, в котором арматуру предварительно до укладки бетонной смеси натягивают с большой силой (до 60% предела прочности металла) и после затвердевания бетона отпускают, называют *предварительно напряженным железобетоном*. Предварительное натяжение арматуры повышает трещиностойкость железобетона и сопротивление его изгибающим моментам. Расход арматуры и бетона при предварительном натяжении арматуры значительно сокращается, конструкции получаются более легкими и компактными. Для армирования железобетонных подземных конструкций можно применить арматурную сталь:

- *стержневую горячекатаную* – гладкую класса А-I, периодического профиля классов А-III, А-IV, А-V, А-VI; термически и термомеханически упрочненную (периодического профиля классов Ат-III, Ат-IV, Ат-V, А-VI);
- *проволочную* – арматурную холоднотянутую проволоку (обыкновенную гладкую класса В-I); обыкновенную периодического профиля класса Вр-I; высокопрочную гладкую класса В-II; периодического профиля класса Вр-II.

Расчетные сопротивления сжатию и растяжению стержневой и проволочной арматуры, применяемой для изготовления железобетонных крепей, железобетонных затяжек, металлических решетчатых затяжек и других подземных конструкций, приведены в СП 63.13330.2012 [3].

Каменные материалы

Естественные камни для крепления горных выработок применяют редко (при устройстве фундаментов под крепи из искусственных камней, бетона и железобетона). Для этих целей используют обычно необработанный естественный камень (из крепких изверженных и осадочных водостойких пород) неправильной формы, называемый *бутом*.

Искусственные камни – штучный крепежный материал, изготавливаемый заводским способом. Для крепления горных выработок применяют в небольших объемах бетонные блоки и бетониты. Иногда используют обычный строительный кирпич для перемычек в горных выработках.

Бетониты – искусственные камни из обычного бетона или шлакобетона. По форме различают прямоугольные и клиновидные бетониты. Прямоугольные бетониты применяют для кладки прямых стен крепи горизонтальных и наклонных выработок, клиновидные – для кладки сводов горизонтальных и наклонных выработок, для сооружения криволинейных конструкций крепи.

Бетонные блоки – бетонные камни больших размеров. Крепь из бетонных блоков возводят с помощью средств механизации – кранов, укладчиков тьюбингов, блоков. Масса блоков колеблется от 299 до 500 кг. Блоки снабжены монтажными петлями из проволоки, используемыми при погрузке и разгрузке блоков.

Блоки изготавливают в многогнездных металлических формах из бетона классов по прочности В30, В40 с уплотнением смеси на виброплощадке и последующей обработкой отформованных изделий в камерах пропаривания. Отсутствие металлической арматуры существенно упрощает технологию изготовления блоков и снижает их стоимость.

Накоплен некоторый опыт изготовления *шлакоблоков* и *кирпичей* из гранулированных шлаков, горелых пород, отходов обогатительных фабрик (обогатительная фабрика «Абашевская» в г. Новокузнецке и др.).

Использование в качестве строительных материалов, в том числе и крепежных, попутно добываемых пород с железными рудами, углями и другими полезными ископаемыми, а также отходов обогатительных фабрик является важным направлением экономии материалов.

Полимерные материалы

Полимерными называют материалы, в состав которых в качестве основного компонента входят высокомолекулярные органические вещества (полимеры – от греческого «поли» - много, «мерос» - часть, доля). Благодаря способности в процессе переработки принимать требуемую форму и сохранять ее после снятия действующих усилий, полимерные материалы называют также *пластическими массами*.

К полимерным крепежным материалам относят стеклопластики, пластобетон, углепласт, химические составы на базе синтетических смол для закрепления анкеров в скважинах. Для затяжек предложены различные синтетические тканевые материалы. Для закрепления анкеров в горных породах, а также для тампонажа закрепленного пространства и нагнетательного упрочнения пород применяют различные синтетические полимерные растворы смол. Из пластических полимерных материалов изготавливают прокладки для блочной крепи, шайбы для гидроизоляции болтовых соединений тьюбинговой крепи и т.п.

Углепласт представляет собой крепежный материал из угольной пластмассы, получаемой горячим прессованием тонкоизмельченного угля с добавкой смолы при давлении 50-60 МПа и температуре 150-180 °С и холодным отвердеванием в присутствии бензосульфокислоты. В качестве наполнителя применяют дробленый каменный уголь (изредка коксовую мелочь) крупностью частиц до 13 мм. Иногда дробленый уголь смешивают с опилками. Связующим веществом служит фенолформальдегидная смола (до 23 % от массы угля), в которую в качестве пластификатора (добавки, повышающей скольжение связующего вещества) добавляют олеиновую кислоту

(до 2% массы смолы). Углепласт имеет прочность на сжатие 40-70 МПа. Его применяют для изготовления кольцевой тубинговой крепи, плоских затяжек.

Стеклопластики – отвердительные синтетические смолы, содержащие в качестве упрочняющего наполнителя стекловолокно в виде стеклонитей, жгутов, холста или стеклоткани. Стекловолокно может применяться как армирующий элемент также в рубленном виде. Применение в производстве стеклопластиков, тканей, а также нетканых материалов в виде жгутов и холстов обеспечивает эффективную пропитку их связующим веществом. В стеклопластиках в качестве связующего применяют полиэфирные, эпоксидные и другие полимерные смолы. Полимерные связующие должны быть высокой прочности, стойкими против агрессивных вод. Они должны обеспечивать хорошее сцепление с армирующими стекловолокнистыми материалами. Наиболее часто в нашей стране для изготовления стеклопластиков применяют полиэфирные смолы, которые в 4-4,5 раза дешевле эпоксидных.

Кроме связующего и армирующего компонентов в стеклопластик вводят вещества, называемые стабилизаторами. Они предназначены для предотвращения старения пластика, ухудшения со временем его свойств при эксплуатации. Стойки, верхняки, затяжки и другие элементы крепи из стеклопластика обычно изготавливают прессованием, но могут также применяться методы литья способом протяжки и намотки.

Стеклопластик применяют для изготовления штанг (стержней) полимерной анкерной крепи. Диаметр стержня 18-20 мм. В частности, полимерную анкерную крепь со стержнем из стеклопластика применяют на отдельных шахтах в Прокопьевском районе в Кузбассе при обработке мощных угольных пластов.

Технология изготовления стеклопластовых стержней заключается в следующем. Пучок стекложгутов, проходя камеры подсушки, теряет влагу и обезжиривается, попадая под прижимное устройство в ванночки, заполненные связующим. Затем проходит фильтр камеры полимеризации, где происходит его уплотнение, отжим излишнего связующего и реакция полимеризации под воздействием температуры 130-140 °С.

Стекловолокнистые материалы обладают большой прочностью на разрыв (1250-2000 МПа), не подвержены гниению, влаго- и термостойки.

Полимерные материалы относят к числу наиболее эффективных крепежных материалов. Они позволяют существенно снизить массу конструкций и повысить их несущую способность.

Полимербетоны – композиционные материалы, получаемые на основе полимерного связующего, минеральных заполнителей и наполнителей. В качестве полимерного связующего наиболее широко применяют фурановые, эпоксидные, полиэфирные фенолформальдегидные смолы.

К минеральным наполнителям относят порошки с размером частиц менее 0,15 мм, к заполнителям – песок с размером зерен до 5 мм и щебень. Наибольшее распространение получили полимербетоны на фурановых смолах, отверждаемых добавками сульфокислот. Для изготовления полимерных бетонов обычно применяют тощие смеси с расходом связующего 100-200 кг на 1 м³ бетона при соотношении связующего к наполнителям 1:5 – 1:12 по массе. Твердение полимерных бетонов идет значительно быстрее цементных. Полимерные бетоны обладают высокой механической, гидравлической и химической стойкостью. Предел прочности их на сжатие 60-112 МПа, при изгибе – 12-40 МПа. Морозостойкость полимерных бетонов может достигать и превышать 200-300 циклов попеременного замораживания.

В горном производстве полимерные бетоны применяют для крепления стволов коллекторов и других подземных сооружений, эксплуатируемых в условиях воздействия агрессивных сред.

В последнее время в отечественной и зарубежной горной промышленности получают все большее применение *полимерные смолы* для упрочнения горных пород вокруг выработок и слабых углей разрабатываемых пластов, а также химические растворы. По сравнению с цементными растворами химические обладают большей проникающей способностью, а сроки их твердения и прочности могут изменяться в широких пределах.

2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КРЕПЯХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ. КЛАССИФИКАЦИЯ КРЕПЕЙ

Горная крепь (обделка) – строительная конструкция, возводимая в горных выработках и подземных сооружениях для сохранения их заданных размеров и формы и защиты от обрушений и чрезмерных смещений окружающих пород (2).

Крепление горных выработок (подземных сооружений) – совокупность работ по установке (возведению) крепи. Важно обратить внимание на два совершенно различных понятия: *крепь горной выработки* и *крепление горной выработки*, которые зачастую путают студенты.

Горные крепи по виду конструкции, материалу, из которого они изготовлены, форме, характеру работы и другим признакам подразделяют [1]:

- *по материалу* – на деревянные, металлические, каменные (из естественных и искусственных камней), бетонные, железобетонные, полимерные, смешанные;
- *по форме* – трапециевидные, прямоугольные, арочные, кольцевые, эллиптические, полигональные;
- *по назначению выработок* – на крепи подготовительных, капитальных и очистных выработок;
- *по углу наклона выработок* – на крепи горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок;
- *по сроку службы* – на временные, временные предохранительные и постоянные;
- *по характеру взаимодействия крепи с массивом пород* – на ограждающие, изолирующие и несущие.

Ограждающие крепи предназначены для защиты людей и оборудования в выработке от случайных местных вывалов кусков породы.

Изолирующие крепи служат для защиты обнажений пород в выработках от выветривания, переувлажнения, растекания и сглаживания неровностей. Изолирующими являются крепи из торкретбетона и набрызгбетона, полимерных и других материалов.

Несущие крепи служат для восприятия нагрузки от горного давления. Их подразделяют:

- *по величине конструктивной податливости* – на жесткие, малоподатливые и очень податливые. Величина вертикальной податливости перечисленных групп крепей составляет соответственно до 50 мм, от 50 до 100 мм, от 100 до 300 мм и более 300 мм;
- *по взаимному расположению частей* – на одно-, двух- и многослойные;
- *по способу возведения* – на обычные и специальные (забивные, погружные, опускные и др.).

Рамная крепь – крепь, которая состоит из отдельных несущих рам различной формы (трапециевидной, арочной и др.). Ее устанавливают в выработке на некотором расстоянии («вразбежку») или вплотную одна к другой. Рамные крепи в зависимости от формы называют также соответственно арочной, трапециевидной, кольцевой, полигональной крепью и т.п.

Сплошная крепь – монолитная или сборная из отдельных элементов; бетонная и железобетонная крепи, полностью перекрывающие кровлю и бока выработки (незамкнутые конструкции), а зачастую и почву выработки (замкнутые конструкции).

Смешанная крепь – крепь выполненная из различных крепежных материалов. К смешанным относят, например, рамные крепи, состоящие из деревянных стоек и металлического верхняка, из железобетонных стоек и металлического верхняка и др.

Комбинированная крепь – крепь, состоящая из двух и более различных конструкций (например, рамная деревянная или металлическая крепь в сочетании с анкерной, набрызгбетонная совместно с анкерной и др.).

Постоянную крепь устанавливают на весь срок службы выработки, *временную крепь* возводят до установки постоянной.

Крепь, применяемую для предотвращения обрушения пород на участке подвигания забоя на очередной цикл в момент их обнаружения до возведения крепи (постоянной или временной), называют *временной предохранительной крепью*.

Плотность крепи характеризует число крепежных рам на единицу длины (обычно на 1 м) выработки или число стоек, анкеров, секций крепи на единицу площади (основном на 1 м²) кровли выработки.

Основные требования к крепям горных выработок

Крепь горных выработок должна удовлетворять следующим основным техническим, технологическим и экономическим требованиям:

- иметь достаточную прочность и несущую способность, т.е. выдерживать давление горных пород, не разрушаясь, и обеспечивать безопасное состояние выработки;
- занимать мало места в выработке с целью снижения затрат на выемку породы и крепление;
- быть несложной в изготовлении;
- не оказывать большого сопротивления движению воздуха по выработке, т.е. обладать низким аэродинамическим сопротивлением;
- не мешать выполнению работ при проведении и эксплуатации выработок;
- быть удобной и нетрудоёмкой при транспортировании и при возведении её в выработке;
- быть огнестойкой, морозостойкой и стойкой против гниения и коррозии;
- обеспечивать легкую и удобную разборку на отдельные транспортабельные части при ремонте выработок и предусматривать возможность наиболее полного извлечения крепи из погашаемых выработок и дальнейшего повторного использования;
- трудовые и материальные затраты на изготовление, транспортировку и установку крепи и ремонт её в течение всего времени эксплуатации выработки должны быть наименьшими;
- обеспечивать возможность механизации возведения крепи и изготовления её элементов.

По условиям безопасности очень важно, чтобы разрушению крепи при достижении её предельной несущей способности предшествовали внешние признаки, которые позволили бы своевременно принять меры по предотвращению обрушения пород и завала выработки.

Эти требования являются общими для всех видов и конструкций крепей подготовительных и капитальных выработок и ими следует руководствоваться при выборе вида и конструкции крепей для конкретных горно-геологических условий и выработок.

3. КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И СМЕШАННЫХ РАМНЫХ КРЕПЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Металлические рамные крепи являются наиболее распространенным видом крепи горизонтальных и наклонных горных выработок. Так, на угольных шахтах ими крепят около 86% капитальных горных выработок.

Для крепления выработок применяют следующие основные конструкции металлических крепей:

- *податливые* крепи (арочные, трапециевидные и кольцевые);
- *жесткие крепи* (арочные, трапециевидные и кольцевые).

Из общего объема применяемых металлических крепей более 90% составляют крепи типа КМП (рис.3).

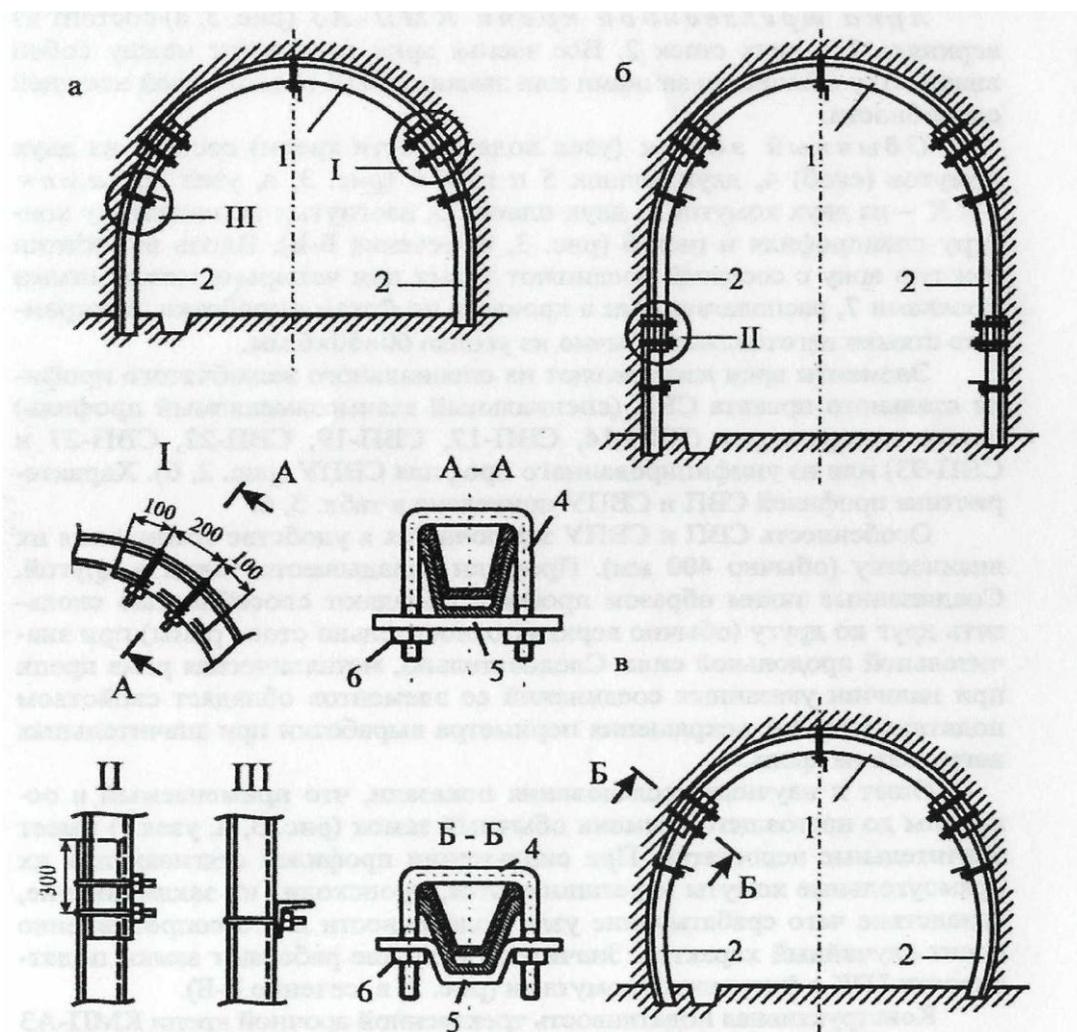


Рис. 3. Металлические податливые арочные крепи из спецпрофиля:
а – КМП-А3; б – КМП-А5; в – КМП-А3У

Арка трехзвенной металлической податливой крепи КМП – А3 (см. рис. 3, а) состоит из верхняка 1 и двух стоек 2. Все звенья арки соединяют между собой внахлестку обычными замками или замками ЗПК повышенной несущей способности.

Обычный замок (узел податливости крепи) состоит из двух хомутов (скоб) 4, двух планок 5 и гаек 6 (рис. 3, а, узел I), замок ЗПК – из двух хомутов 4, двух планок

5, изогнутых по внешнему контуру спецпрофиля и гаек 6 (рис. 3, в, сечение Б-Б). Вдоль выработки каждую арку с соседней соединяют тремя или четырьмя межрамными стяжками 7, располагаемыми в кровле и по бокам выработки. Межрамные стяжки изготовляют обычно из уголка 60×60×6 мм.

Элементы арки изготовляют из специального желобчатого профиля стального проката СВП (специальный взаимозаменяемый профиль) шести типоразмеров (СВП-14, СВП-17, СВП-19, СВП-22, СВП-27 и СВП-33) или унифицированного профиля СВПУ (рис. 2, б). Характеристика профилей СВП и СВПУ приведена в табл. 5, 6.

Однопутевые выработки крепят в основном арочными крепями из спецпрофиля СВП-17 и СВП-22, двухпутевые – арочными крепями из спецпрофиля СВП-22 и СВП-27. Крепи из спецпрофиля СВП-33 применяют пока в небольших объемах в выработках, испытывающих большое горное давление.

Для выработок, в которых смещение кровли и почвы достигает 1000 мм предназначена *пятизвенная податливая арочная крепь КМП-А5* (рис. 3, б). Арка крепи КМП-А5 состоит из верхняка 1, двух стоек 2 и двух податливых ножек 3. Она изготавливается, как и крепь КМП-А3, из спецпрофиля СПВ, элементы её соединяются между собой такими же замками податливости, а арки по длине выработки – также межрамными стяжками.

Крепь КМП – АЗУ (крепь металлическая податливая арочная трехзвенная унифицированная) из спецпрофиля является модификацией крепи КМП-А3. Основной отличительной особенностью её является криволинейность стоек, что значительно повышает способность воспринимать большую нагрузку со стороны боков выработок (рис. 3, в). Крепь разработана Кузнецким научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом (КузНИУИ) и в последние годы довольно широко применяется на шахтах Кузбасса. Изготовитель крепи – Прокопьевский и Ленинск-Кузнецкий механические заводы.

Конструктивная податливость крепи по высоте 300 мм, несущая способность рамы с замком ЗПК в податливом режиме в зависимости от типоразмера спецпрофиля – от 180 до 280 кН.

Разработано 11 типоразмеров крепи КМП-АЗУ для горизонтальных и наклонных (до 35 °) выработок площадью поперечного сечения в свету от 7,8 м² до 19,4 м². Основные параметры типоразмеров крепи приведены в таблице 8.

Таблица 8

Краткая характеристика типоразмеров крепи КМП-АЗУ

Типоразмер крепи, его обозначение	Площадь сечения выработки в свету, м ²		Типоразмер спецпрофиля (№ СВП)	Ширина в свету (на уровне почвы выработки), м	Высота в свету (от уровня почвы выработки), м	Радиус кривизны, мм		Масса комплекта крепи, кг
	с балластом	без балласта				верхняка	стоек	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КМП-АЗУ 8-17	-	7,8	17	3545	2620	1540	2050	169,4
КМП-АЗУ 9-17	9,1	9,9	17	3815	3065	1540	2600	185,9
КМП-АЗУ 10-17	-	9,5	17	4110	2745	19220	2050	180,4
КМП-АЗУ 10-22	-	9,5	22	4150	2755	1854	2230	229,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
КМП-АЗУ 11-17	10,8	11,7	17	4385	3190	1922	2600	196,8
КМП-АЗУ 11-22	11	11,9	22	4385	3265	1854	2775	253,7
КМП-АЗУ 13-22	13	13,9	22	4665	3510	2147	2775	274,9
КМП-АЗУ 13-22р	13	13,8	22	4665	3510	2147	2775	281,5
КМП-АЗУ 19-27	12,9	13,8	27	4760	3500	1972	3071	336,1
КМП-АЗУ 18-27	16,1	17,3	27	5655	3690	2582	3071	363,1
КМП-АЗУ 18-27	18,2	19,4	27	5855	3995	2585	2585	380,9

Крепь металлическая податливая кольцевая КМП-К4 (рис. 4) предназначена для горизонтальных и наклонных выработок, расположенных в неустойчивых породах, склонных к пучению.

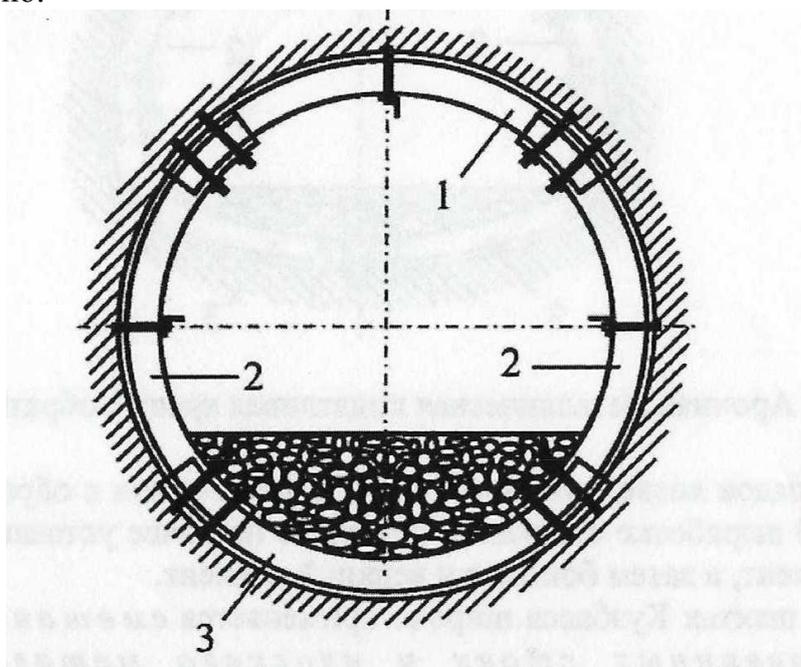


Рис. 4. Кольцевая металлическая податливая крепь КМП-К4

Кольцо крепи состоит из верхняка 1, двух боковых криволинейных элементов 2 и лежня 3. Элементы соединяются внахлестку (обычно 400 мм) при помощи хомутов, планок и гаек аналогично крепям КМП-АЗ из спецпрофиля СВП (рис. 4) в следующем порядке: на почву укладывается лежень 3, устанавливаются боковые криволинейные элементы 2, а затем навешивается верхняк 1. В выработках кольца соединяют между собой тремя-четырьмя металлическими стяжками. Кольца устанавливают в выработках на расстоянии 0,4-1 м друг от друга в зависимости от интенсивности горного давления. Пространство между кольцами затягивают частично или полностью стяжками. Величина податливости кольцевой крепи составляет в основном 300-500 мм по вертикали и 200-250 мм по горизонтали.

Несущая способность кольца в податливом режиме в зависимости от типа профиля составляет: СВП-17 – 150 кН, СВП-22 – 180-200 кН, СВП-27 – 200-220 кН, а в жестком режиме соответственно 250-300 кН, 300-320 кН, 350-400 кН.

Арочную металлическую податливую крепь с обратным сводом КМПЗ (крепь металлическая податливая замкнутая) изготавливают из спецпрофиля СВП. Применяют крепи, обратный свод которых состоит из одного лежня, и крепи, обратный свод которых выполнен из двух полулежней.

На рис. 5 показана арочная металлическая податливая крепь с обратным сводом, состоящая из верхняка 1, двух боковых криволинейных элементов 2 и двух криволинейных полулежней 3, соединенных между собой с помощью скоб с планками и гайками или скоб с болтами.

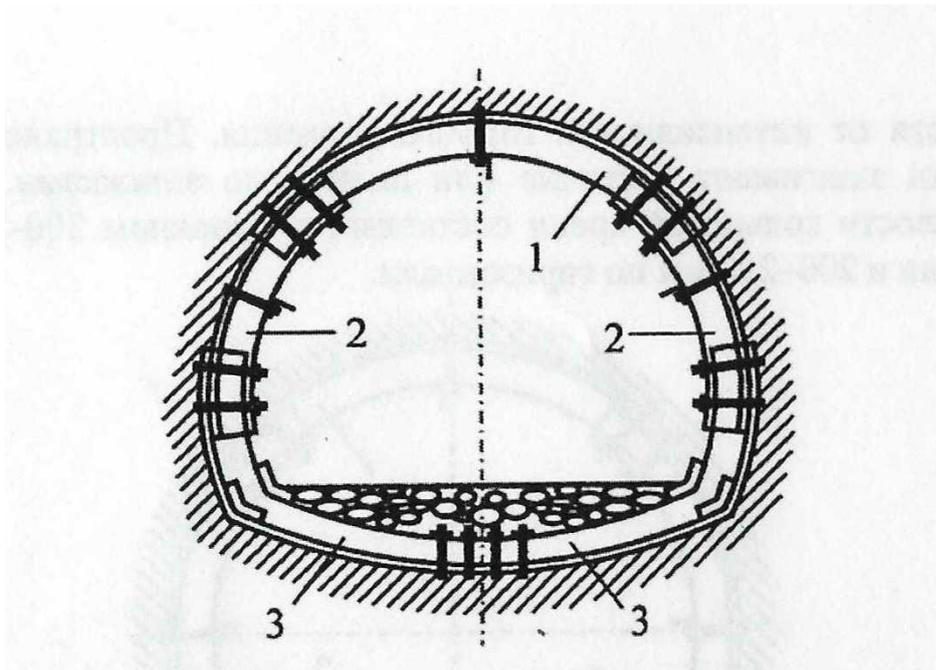


Рис. 5. Арочная металлическая податливая крепь с обратным сводом

Крепь с обратным сводом применяют обычно в выработках с пучащими породами почвы и в выработках, испытывающих повышенное всестороннее горное давление.

Порядок возведения кольцевой крепи и крепи с обратным сводом в горной выработке следующий: вначале на почве устанавливают нижний элемент, а затем боковые и верхний элемент.

На шахтах Кузбасса широко применяется смешанная крепь из деревянных стоек и плоского металлического верхняка из спецпрофиля для крепления конвейерных и вентиляционных штреков лав, других пластовых выработок с небольшим сроком службы. Ею крепят на шахтах Кузнецкого бассейна 15-18 % от общей протяженности проводимых горных выработок. Рама крепи состоит из плоского металлического верхняка 1 из спецпрофиля СВП-17 или СВП-22 и двух деревянных стоек 3 (рис. 6). Верхняк расположен открытой стороной внутрь выработки. Верхний конец слегка заостряют по форме поперечного сечения спецпрофиля и вводят плотно в верхняк. Для предотвращения выдавливания стоек из верхняка к нему поперек с каждой стороны в местах ввода стоек приварены металлические угольники 2 или пластины.

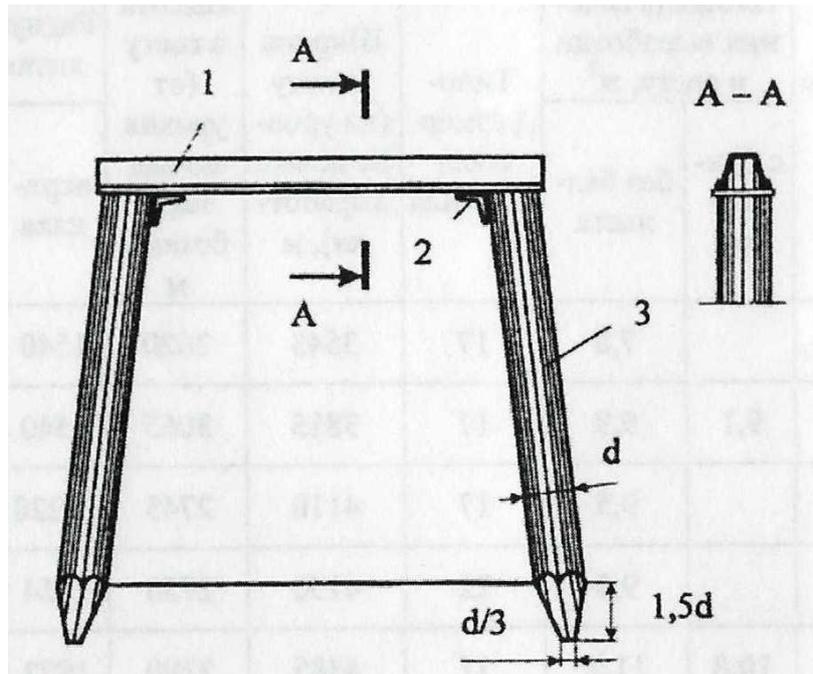


Рис. 6. Смешанная крепь из деревянных стоек и металлического верхняка из спецпрофиля

Рамы устанавливаются через 0,4-1 м друг к другу, кровлю и бока перетягивают металлическими решетчатыми или деревянными затяжками. Для повышения устойчивости крепи между соседними рамами ставят деревянные распорки у кровли.

Накопленный опыт показывает, что эта крепь имеет существенные преимущества перед обычной деревянной трапециевидной крепью в условиях повышенного горного давления со стороны кровли. Благодаря замене деревянного верхняка металлическим достигается повышение несущей способности крепи более чем в два раза.

4. КОНСТРУКЦИИ МЕЖРАМНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Межрамное ограждение (или *затяжка*) является составным элементом рамной крепи. Оно предназначено для защиты выработки от вывала породы из кровли и боков в промежутках между крепежными рамами.

На угольных, рудных и других шахтах страны применяют следующие виды затяжек: *железобетонные, металлические (решетчатые и сетчатые), рулонные стеклопластиковые*. На угольных шахтах в пластовых выработках с небольшим сроком службы (обычно до двух лет) до настоящего времени довольно широко используют деревянные затяжки.

Деревянные затяжки просты в изготовлении (рис. 7), имеют небольшую массу, сравнительно низка трудоемкость работ по их возведению. Однако они имеют и существенные недостатки, основными из которых являются довольно низкая прочность и несущая способность, недолговечность в связи с подверженностью гниению, неогнестойкость.

С переходом на глубокие горизонты из-за интенсивного роста горного давления весьма существенно снижается надежность и эффективность применения деревянных затяжек. Взамен их используют железобетонные, металлические и другие более прогрессивные затяжки. Кроме того, резкое сокращение лесных материалов для крепления горных выработок диктуется необходимостью охраны природы, лесов и более рациональным использованием их в народном хозяйстве для других целей.

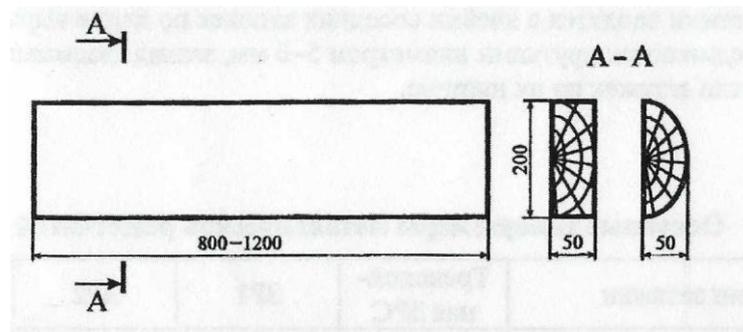


Рис. 7. Общий вид деревянной стяжки

Железобетонная затяжка является самым распространенным ограждением в капитальных горизонтальных и наклонных горных выработках. Она представляет собой плоскую плиту прямоугольного сечения. Железобетонные затяжки изготавливаются обычно из бетона класса В20 и В30, арматура – из стальной арматурной проволоки диаметром 3-8 мм. Преобладающая длина затяжек 800-1200 мм, ширина 200 мм, толщина 45-50 мм (рис. 8). Расход бетона на одну затяжку размером 1000×200×50 мм составляет обычно 0,01 м³, металла – 0,814 кг, масса затяжки – 24 кг. Размеры зятяжек унифицированы на основании анализа данных практики и в соответствии с типовыми расстояниями между рамами крепи. На горных предприятиях Кузбасса используются главным образом затяжки длиной 800-1000 мм, шириной 200 мм, толщиной 50 мм.

Металлические межрамные сетчатые ограждения (рис. 9) изготавливают из стальной проволоки диаметром 2-2,5 мм. Полотнища сетки складывают обычно в рулоны, что облегчает хранение, транспортирование и укладку сетки за крепь.

Несущая способность такой сетки достигает 40 кПа. В выработках со сроком службы более 2-3 лет рекомендуется сетку покрывать защитными от коррозии полимерными и другими материалами.

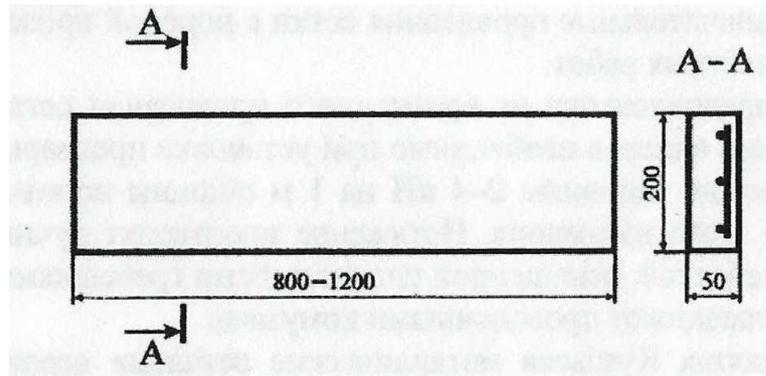


Рис. 8. Общий вид плоской железобетонной затяжки

Существенным недостатком этих межрамных ограждений является образование провесов сетки под действием веса обрушенных пород. Наиболее значительные провисания сетки с породой происходят в зоне влияния очистных работ.

Для предохранения от чрезмерного провисания сетки между рамами, рядами анкеров необходимо при установке предварительно натягивать сетку до величины 2-4 кН на 1 м ширины полотна сетки с фиксацией этого натяжения. Натяжение производят ручными домкратами или лебедкой, оснащенной специальными гребешками. Между собой сетки соединяют проволочными хомутами.

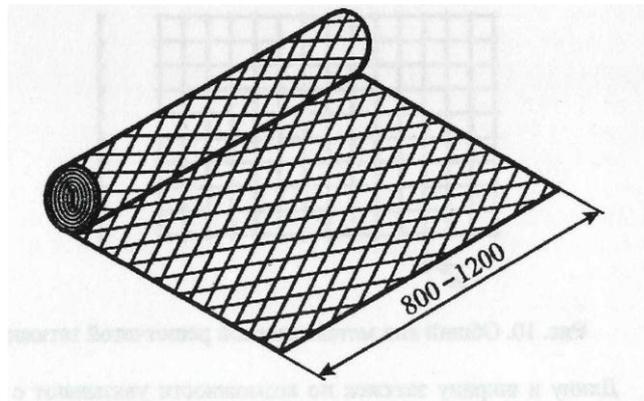


Рис. 9. Общий вид металлического межрамного сетчатого ограждения

На шахтах Кузбасса металлические сетчатые ограждения (*преимущественно панцирные, сетка Рабица*) применяют в основном в пластовых выработках с анкерной крепью для перетяжки кровли.

Металлическая решетчатая затяжка представляет собой прямоугольную конструкцию (рис. 10), которая сваривается из стальных прутков диаметром 3-10 мм (преимущественно диаметром 4-6 мм).

Длину и ширину затяжек по возможности увязывают с периметром и величиной подвигания забоя выработки на цикл. Размеры затяжек составляют 500÷530, 750÷530, 1000÷530, 1000÷1000, 1500÷1000, 1200÷800, 2200÷1100 и др. Размеры ячеек в зависимости от конструкции затяжки составляют 200÷60, 50÷250, 50÷125, 50÷50 мм и др. Разработаны и применяются обычные решетчатые затяжки и комбинированные затяжки, выполненные из двух решеток, между которыми расположена стеклоткань, пропитанная негорючим лаком. Эту затяжку обычно называют трехслойной. Ниже приведены основные параметры металлических решетчатых затяжек ЗР конструкции КузНИУИ (табл. 9).

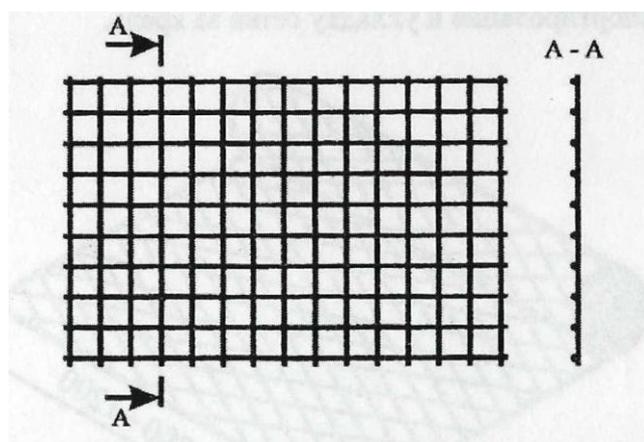


Рис. 10. Общий вид металлической решетчатой затяжки

В последние годы в Кузбассе разработана новая конструкция металлической решетчатой затяжки размером 1200×600 мм, на одном конце которой имеются петлеобразные выступы для соединения ее с соседней затяжкой по длине выработки. Петлеобразными выступами затяжки вводятся в ячейки соседних затяжек по длине выработки, и они соединяются прутками диаметром 5-6 мм, закладываемыми в выступы петли затяжек по их ширине.

Таблица 9

Основные типоразмеры металлической решетчатой затяжки

Тип затяжки	ЗРС (трехслойная)	ЗР1	ЗР2	ЗР3
Диаметр прутков, мм	5-6	4-6	4-6	4-6
Размер ячеек, мм	180-180	50-80 80-250	50-80 80-250	50-80 80-250
Длина, мм	1200	2200	2500	2800
Ширина, мм	800	1100	1100	1100
Масса, кг	3,1-5,7	5,4-7,9	6,9-9,4	6,8-10

Металлической решетчатой затяжки широко применяются на шахтах Кузбасса. С использованием их проводят около 25 % всех подготовленных выработок шахт бассейна. Наиболее широко их применяют на шахтах Томусинского, Байдаевского, Беловского и Ленинского районов.

Металлическая резанотянутая затяжка. Разработана и применяется в небольшом объеме на шахтах Кузбасса. Затяжка изготавливается из листовой стали толщиной не более 4 мм. На листах стали шириной не более 1,5 м полуавтоматом ПОГ-4 делают нарезки и вытяжкой формируют ячейки, имеющие форму параллелограмма. Общий вид затяжки представлен на рисунке 11, основные размеры затяжек, изготавливаемых на полуавтомате ПОГ-4, - в таблице 10.

Максимальная производительность ПОГ-4 – 250 м² затяжек в час.

Таблица 10

Основные параметры металлической резанотянутой затяжки

Тип затяжки	Размеры, мм					Масса, кг/м ²
	l	b	a	c	t	
Первый (ММ)	1220	525	87,5	200	20	2,38
Второй (сетка №24)	1250	832	40	115	6	3,54

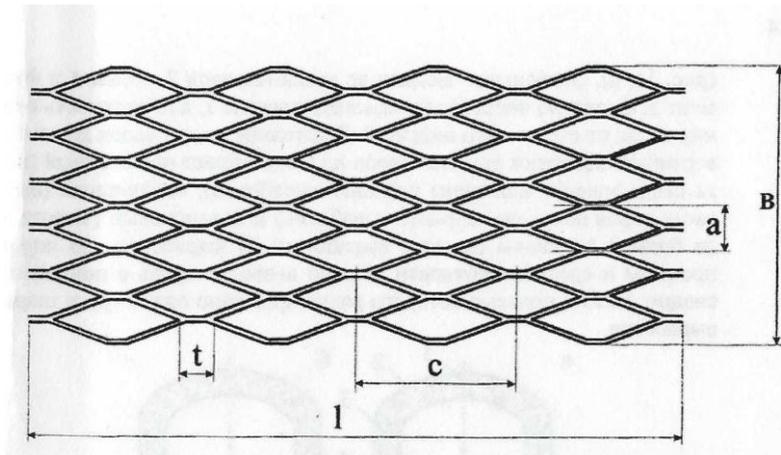


Рис. 11. Общий вид металлической резанотянутой затяжки

Полимерные затяжки разработаны и серийно выпускаются специальным цехом концерна «Кузнецкуголь». Общий вид затяжки представлен на рисунке 12. Она состоит из проволочного каркаса (12-15% общей массы затяжки), как и обычная плоская железобетонная затяжка, смеси фенолформальдегидной смолы СФЖ (35-37%), кислотного отвердителя ВАГ-№ (5-7%) и наполнителя из кокосовой мелочи (43-46%).

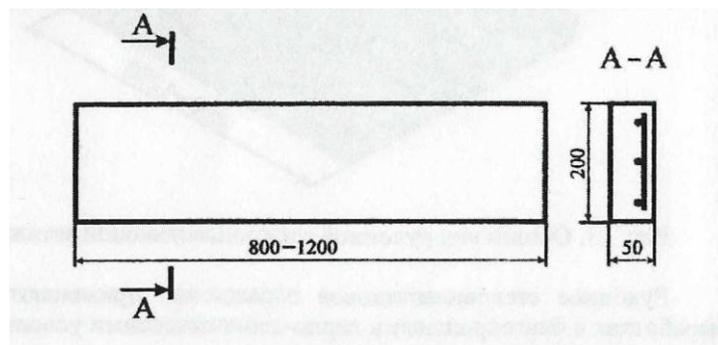


Рис. 12. Общий вид полимерной затяжки

Процесс изготовления затяжки заключается в следующем. Производят механическое перемешивание всех компонентов смеси при комнатной температуре, подают смесь в специально изготовленные прессформы и подогревают смесь до 80°C водой, подаваемой по трубам к пресс-формам. Процесс полимеризации смеси длится 15-20 мин. Затем затяжки извлекают из пресс-формы для использования. Полимерную затяжку выпускают трех типоразмеров: $800 \times 500 \times 35$ мм (массой 17 кг) и $1000 \times 200 \times 45$ мм (массой 10 кг).

Полимерная затяжка имеет ряд преимуществ перед железобетонной затяжкой: масса одной затяжки почти в 3 раза меньше железобетонной; прочность затяжки на сжатие составляет 28-30 МПа, т.е. значительно выше, чем железобетонной; время изготовления одной затяжки 30 мин (железобетонной – 48 ч). К недостаткам можно отнести то, что эта затяжка более дорогостоящая по сравнению с железобетонной, также более хрупкая.

Рулонное стеклопластиковое межрамное ограждение конструкции НИИОГРа (рис. 13) представляет собой вязальную стеклоткань толщиной 2,5 мм и шириной 800-1200 мм, пропитанную полимерными смолами. Стеклоткань поступает на горные предприятия (как и металлические сетки) рулонами. Длина ткани в рулоне 50 м, масса

1 м² ограждения – 0,9 кг, предельное усилие на ткань шириной 800 мм при растяжении в продольном направлении около 80 кН, в поперечном направлении – 40 кН.

Основными достоинствами этого вида межрамного ограждения являются небольшая масса, огнестойкость, влагостойкость, неподверженность коррозии и гниению, малая толщина.

Недостаток рулонных стеклопластиковых ограждений – провисание их между рамами, анкерами внутрь выработки.

Рулонное стеклопластиковое ограждение устанавливают полосами в кровле и боках вдоль выработки с нахлесткой по ширине полос 50-80 мм и по длине 150-200 мм. Перекрывание полос по длине должно производиться непосредственно над крепежной рамой.

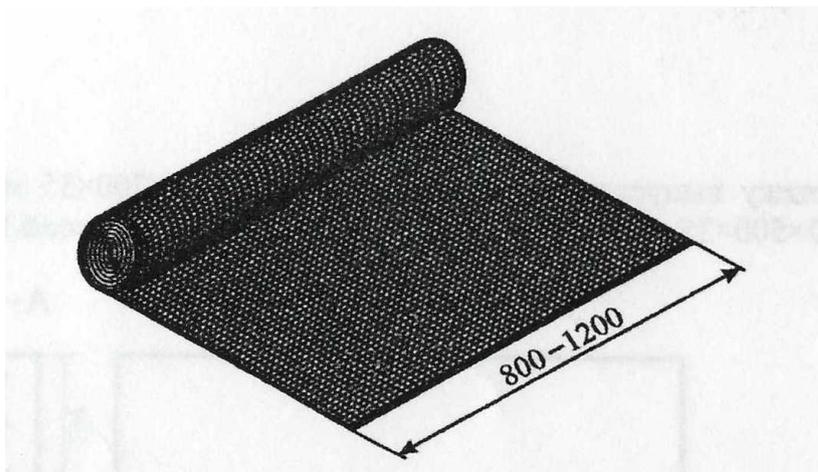


Рис. 13. Общий вид рулонной стеклопластиковой затяжки

Рулонное стеклопластиковое ограждение применяют обычно в выработках с благоприятными горно-геологическими условиями, испытывающих небольшое горное давление.

С применением рулонного стеклопластикового ограждения на шахтах Кузбасса проводят часть подготовительных выработок. Его используют также при расширении и ремонте выработок, для перетяжки кровли и боков камер и ниш с небольшим сроком службы.

5. КОНСТРУКЦИИ КРЕПИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ МОНОЛИТНЫХ БЕТОННЫХ И СПЛОШНЫХ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КРЕПЕЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Монолитная бетонная крепь представляет собой в поперечном сечении выработки бетонную конструкцию, внутренний контур которой соответствует проектной форме сечения выработки, а внешний в точности повторяет породный контур выработки в проходке. Её применяют в основном для крепления капитальных горных выработок (подземных сооружений) с большим сроком службы и находящихся в зоне влияния очистных работ.

Основными конструкциями монолитной бетонной крепи являются (рис. 14):

- бетонная крепь с вертикальными стенами и сводчатым перекрытием,
- бетонная крепь с вертикальными стенами, сводчатым перекрытием и обратным сводом,
- бетонная арочная крепь с обратным сводом;
- бетонная цилиндрическая крепь.

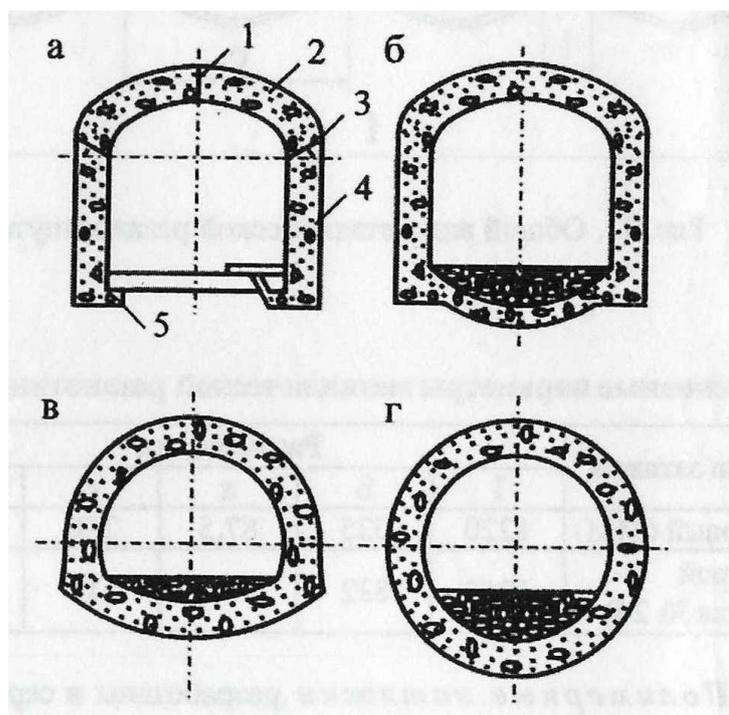


Рис.14. Монолитные бетонные крепи

Конструкцию монолитной крепи принимают в зависимости от прочности вмещающих пород и горного давления на выработку. При преобладании вертикального горного давления в качестве основной формы крепи принимают сводчатую с вертикальными стенками (рис. 14,а). Основными частями её являются свод 2, стены 4 и фундамент 5. Среднюю часть свода называют замком 1, а поверхность опирания свода на стены – его пятами 3. Расстояние от пят свода до замка по вертикали называют высотой свода h_c . Свод бывает пониженный (высота свода меньше половины ширины выработки) и повышенный (высота свода больше половины ширины выработки). В выработках по породам прочным и средней прочности обычно возводят крепь с по-

ниженным сводом, высота подъема которого равна примерно одной трети ширины выработки.

Фундамент бетонной крепи с прямыми стенами и сводчатым перекрытием устанавливают обычно в условиях повышенного вертикального горного давления и сравнительно небольшой прочности пород почвы. Его заглубляют в породы почвы со стороны водосточной канавки на 0,5 м и с противоположной стороны на 0,25-0,3 м.

В неустойчивых породах и при пучении почвы выработки крепятся бетонной крепью с вертикальными стенами, сводчатым перекрытием и обратным сводом (рис. 14, б). В весьма неустойчивых породах и при повышенном боковом давлении применяют арочную бетонную крепь с обратным сводом (рис. 14, в) и цилиндрическую (рис. 14, г). Толщину крепи принимают в зависимости от ширины выработки, прочности пород и ожидаемых величин горного давления. Толщина свода в замке составляет в основном 0,15-0,35 м, стен – 0,2 – 0,4 м, обратного свода – 0,2-0,6 м.

Бетонную крепь выполняют из тяжелых бетонов класса В15, В20 и В30. Для придания крепи необходимой формы и поддержания бетона для его затвердевания применяют металлические и деревянные опалубки различных конструкций. Наиболее эффективны и удобны в работе механизированные передвижные опалубки. Бетон за опалубку укладывают бетоноукладчиками различных конструкций.

Выработки с углом наклона до 16° крепят бетонной крепью так же, как и горизонтальные. В выработках с углами наклона 16° - 45° крепь может быть незамкнутой формы, при устойчивых породах почвы, однако, она должна иметь более усиленный фундамент. При углах наклона 45° – 75° крепь должна быть замкнутой с обратным сводом (или круглой в сложных горно-геологических условиях) и при углах свыше 75° должна быть круглой.

Бетонная крепь долговечна, огнестойка, имеет довольно высокую прочность, малое аэродинамическое сопротивление, практически водонепроницаема, плотно прилегает к боковым породам. Кроме того, её возведение можно полностью механизировать, что резко повышает производительность труда и снижает трудоёмкость и стоимость работ. К недостаткам бетонной крепи относят невозможность восприятия нагрузки сразу же после возведения, неудовлетворительную работу при неравномерных нагрузках и отсутствие податливости. Крепь жесткая, поэтому она не применима в зонах влияния очистных работ.

Железобетонная гладкостенная тюбинговая крепь ГТК конструкции КузНИИ-шахтостроя имеет арочную незамкнутую (рис. 15, а), кольцевую (рис. 15, б) и арочную замкнутую (рис. 15, в) формы. Крепь многос шарнирная с ограниченной податливостью. Податливость достигается обжатием стыков между тюбингами в кольце крепи и забутовочным слоем. Податливая забутовка выполняется из бумажных мешков, заполненных котельным шламом, пенобетоном или породной мелочью. В зависимости от площади сечения выработки применяют от 5 до 7 тюбингов.

Тюбинг (рис. 15, г) представляет собой железобетонный цилиндрический элемент, состоящий из плиты, ограниченной по краям ребрами. Тюбинги скрепляют между собой болтами через предусмотренные в них закладные проушины.

Ширина тюбингов, т.е. размер их по длине выработки, составляет 0,75 м, а остальные их размеры приняты в зависимости от размеров, площади поперечного сечения и грузонесущей способности крепи. Разработано три типоразмера тюбингов с внутренним радиусом 2,2; 2,7; 3 м и с таким же числом полутюбингов. Кроме этого имеются семь типоразмеров тюбинговой крепи ГТК площадью поперечного сечения в свету от 9,4 до 22,2 м². Расчетная прочность крепи составляет 0,1-0,3 МПа.

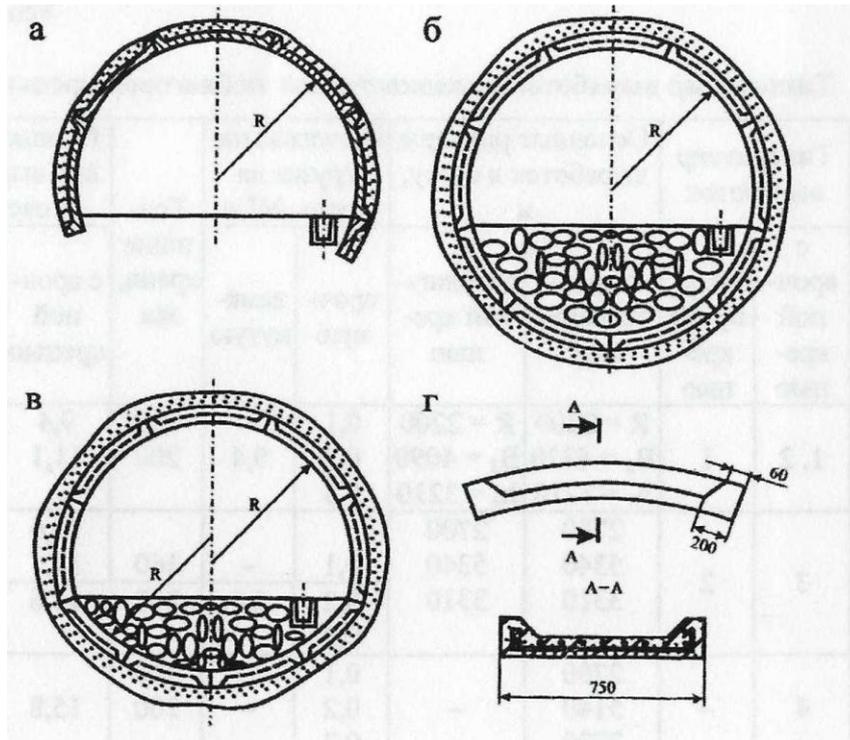


Рис. 15. Железобетонная гладкостенная тубинговая крепь ГТК

Пять из них предназначены для откаточных выработок и два типоразмера специально для вентиляционных выработок.

Для сложных горно-геологических условий разработаны три типоразмера поперечного сечения выработок, из них два – с кольцевой крепью и один – с выположенным обратным сводом. Разработанные типоразмеры и основные параметры крепи ГТК приведены в таблице 11.

Масса тубинга составляет 250-500 кг, расход металла на тубинг – 10,8 – 20 кг, бетона 240 – 480 кг.

Таблица 11

Типоразмер выработок с гладкостенной тубинговой крепью ГТК

Типоразмер выработок		Основные размеры выработок в свету, м		Расчетная нагрузка на крепь, МПа		Толщина крепи, мм	Площадь сечения выработки в свету, м ²	
с арочной крепью	с замкнутой крепью	с арочной крепью	с замкнутой крепью	арочную	замкнутую		с арочной крепью	с замкнутой крепью
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1, 2	1	$R=2200$ $B_2=4320$ $h_1=3210$	$R=2200$ $B_2=4090$ $h_1=3210$	0,1 0,2 0,3	0,4	130 200	9,4 11,1	11,1
3	2	2700 5340 3310	2700 5340 3310	0,1	-	160	13,6 14,1	13,6 14,1
4	-	2700 5140 3720	-	0,2 0,3	0,4	200	15,8	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	-	3000 5910 3710	-	0,1 0,2 0,3	-	200	17,2	-
6	-	3000 5670 4180	-	0,2 0,3	-	200	19,9	-
7	-	3000 5310 4600	-	0,2 0,3	-	200	22,2	-

Примечание: R – радиус тубингов (крепи) в свету, B_2 и h_1 – соответственно ширина на уровне почвы и высота выработки в свету.

Тюбинги изготавливают из быстротвердеющих бетонов класса В30.

Смежные кольца тубингов вдоль выработки возводят с перевязкой горизонтальных швов, которую осуществляют путем установки полутюбинга у почвы выработки в одной арке слева, а в смежной арке справа или установки у почвы двух полутюбингов через одну арку.

Крепь ГТК предназначена для крепления капитальных горизонтальных и наклонных (до 25°) горных выработок, проводимых вне зоны влияния очистных работ в породах средней устойчивости и неустойчивых. Широкое распространение она получила на шахтах Кузбасса для крепления полевых штреков, квершлагов и других выработок. Применение крепи ГТК обеспечивает по сравнению с монолитной бетонной крепью резкое снижение материальных и трудовых затрат.

Процесс возведения крепи ГТК механизирован. Для этого КузНИИшахтострой разработал тубингоукладчики ТУ-2, ТУ-3.

Блочные бетонные крепи конструкции Донгипрошахта бывают с замкнутым БКЗ (рис. 16, а) и незамкнутым – БКА (рис. 16, б) контуром и предназначены для капитальных горных выработок, сооружаемых в неустойчивых породах средней устойчивости при отсутствии пучения пород почвы (БКА).

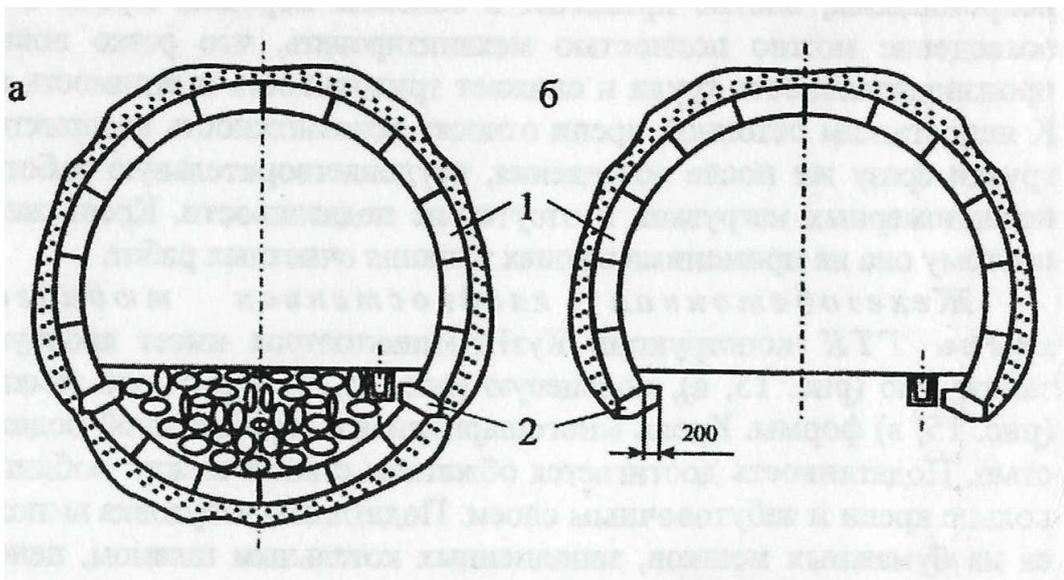


Рис. 16. Блочная бетонная крепь

Крепь БКЗ состоит из радиальных блоков 1 верхнего и обратного сводов и двух фундаментных блоков 2. Такие крепи могут применяться и в наклонных выработках углом наклона до 25° . Блоки в кольце укладываются свободно, не скрепляются болтами, вследствие чего при монтаже и эксплуатации могут поворачиваться в стыках.

Податливость крепи осуществляется за счет смятия деревянных прокладок толщиной 32 мм, которые укладываются между стыками. Ширина блока составляет 500 мм, толщиной – 300 мм для однопутных выработок, а толщиной 400 мм – для двухпутных выработок. Фундаментные блоки имеют горизонтальные площадки шириной 200 мм, служащие для укладки швеллерных балок, по которым передвигается крепеукладчик. Масса блоков – 200-400 кг. Общая податливость крепи составляет 150-200 мм.

6. КОНСТРУКЦИИ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Общие сведения

Анкерная крепь представляет собой стержни, закрепляет различными способами в скважинах (шпурах), пробуренных в определенном порядке в породах по контуру выработки.

Необходимо отметить, что в первые годы применения данного вида крепи в отечественной горной промышленности её называли по-разному: *анкерная, штанговая, болтовая, стержневая* и др. *На рудных шахтах* пользовались в основном названием *штанговая крепь* (иногда пользуются им и в настоящее время), *на угольных шахтах* – *анкерная крепь*.

В настоящее время в горнотехнической литературе почти повсеместно пользуются названием *анкерная крепь*. Для отличия шпуров, в которых устанавливают анкеры, от шпуров для ведения взрывных работ их чаще всего в горнотехнической литературе называют скважинами.

В отличие от других видов крепи анкерная крепь (система анкеров) армирует породный массив в зоне, непосредственно примыкающей к выработке, и, используя несущую способность приконтурных пород, создает систему «крепь-порода» [4].

С помощью анкеров скрепляют отдельные слои и толщи пород и обеспечивают их совместную работу без опасных деформаций и обрушений [1]. Когда непосредственная кровля выработки представляет собой слоистые породы небольшой мощности, а основная кровля – породы средней и значительной прочности, непосредственную кровлю «*подшивают*» анкерами к основной кровле. Непосредственную кровлю в виде отдельных слоев породы также «*сшивают*» анкерами в одну плиту, которая способна воспринимать нагрузки вышележащих пород. Таким образом, анкерная крепь обеспечивает возможность максимально использовать несущую способность пород вокруг горных выработок.

В отечественной и зарубежной горной практике известно более 600 различных конструкций *металлических, деревянных, железобетонных, полимерных, бамбуковых, канатных* и других анкеров.

По принципу закрепления в скважине все конструкции анкеров подразделяют на две основные группы:

- *замковые*, закрепляемые в донной части скважины с помощью различных механических замков;
- *беззамковые*, имеющие контакт с породой по всей длине скважины или части скважины, т.е. закрепляемые по всей длине скважины или части её цементным раствором, смолами и другими вяжущими материалами.

Замковые анкеры подразделяют на *клинощелевые, распорные* (с винтовым или полимерным замком) и *безраспорные*. Наибольшее распространение получили металлические анкеры с распорным замком.

Для обеспечения совместной работы скрепляемых пород анкеры устанавливают с натяжением, обычно 30 – 40 кН.

В зависимости от конструкции и условий закрепления в шпурах различают анкеры с жесткой и податливой рабочими характеристиками. Анкеры, закрепляемые по всей длине шпура (винтовые, железобетонные, сталеполимерные), а также анкеры с винтовыми и полимерными замками, имеют жесткую характеристику, т.е. при возрас-

тании нагрузки на анкер смещаются замки незначительно. Натяжные анкеры (клиновидные, распорные) имеют податливую рабочую характеристику [4].

Виды анкерной крепи для шахт и рудников

Металлический клинощелевой анкер (рис. 17) состоит из стального стержня (штанги) 3 диаметром 23 – 25 мм, опорной плитки (шайбы) 4 и натяжной гайки 5. На замковом конце стержня по диаметру дают щель 2 шириной 2 – 4 мм и длиной 120 – 180 мм и толщиной 25 – 35 мм. Щелевой конец штанги и клин составляют замок анкера.

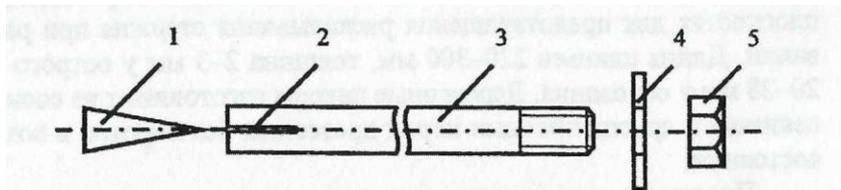


Рис. 17. Конструкция металлического клинощелевого анкера

Клинощелевой анкер устанавливают следующим образом. Клин устанавливают частично в щель штанги и вводят анкер в скважину. Ударами по выступающему концу штанги клин вгоняют в щель штанги.

При этом боковые части штанги «усы» внедряются в породу стенок скважины и закрепляются в ней. Величина внедрения «усов» анкера при доброкачественном его закреплении составляет: 10–12 мм в породы с коэффициентом крепости $f = 3-4$; 7–8 мм в породы с $f = 6-7$; 4–5 мм в породы с $f = 10-12$. С учетом этих данных следует выбирать диаметр скважин при креплении выработок металлическими клинощелевыми анкерами.

После расклинки анкера в скважине на выступающий конец штанги надевают опорную плитку или подхват и затягивают гайкой. Надежность эксплуатации анкерной крепи обеспечивается не только прочностью его закрепления. Под прочностью закрепления анкера понимается максимальная сила, способная выдернуть его из скважины. Прочность закрепления металлических клинощелевых анкеров в породах с $f = 5-8$ составляет обычно 100–140 кН. Металлические клинощелевые анкеры просты в изготовлении, обладают довольно высокой прочностью закрепления. Однако они более металлоемки, не могут быть извлечены из скважины и повторно использоваться. Поэтому в последнее время эту конструкцию анкеров почти не применяют для крепления горных выработок на угольных и рудных шахтах. Довольно широко её используют для закрепления горношахтного оборудования различного назначения, в особенности стационарного, ленточных и скребковых конвейеров и других установок.

Деревянный клинощелевой анкер (рис. 18) представляет собой круглый стержень 2 диаметром 40–60 мм с продольными щелями по диаметру на обоих концах для размещения в них клиньев 1 и 3. Щели прорезают шириной не более 5 мм во взаимно перпендикулярных плоскостях для предотвращения раскалывания стержня при расклинивании. Длина клиньев 220–300 мм, толщина 2–3 мм у острого конца и 20–28 мм у основания. Деревянные анкеры изготовляют из сосны, лиственницы и других прочных пород древесины без пороков в воздушном состоянии.

Прочность закрепления деревянных анкеров в угольных и породных массивах составляет 8–15 кН. Анкер устанавливают в выработке так же, как и металлический клинощелевой анкер, с той лишь разницей, что выступающий в выработку конец стержня расклинивают после надевания на него опорной плитки или подхвата (при устойчивых породах без опорной плитки и подхвата).

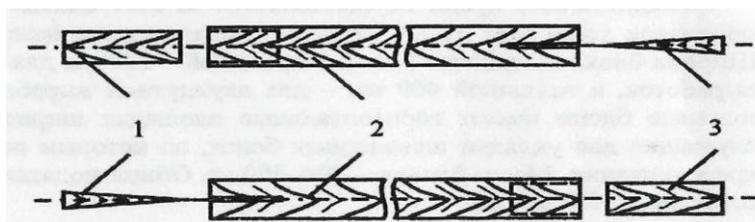


Рис. 18. Конструкция деревянного клинощелевого анкера

Деревянные анкеры применяют в основном в пластовых выработках со сроком службы не более 1,5 лет. Довольно широко их используют для крепления ходовых печей, просеков, скатов и укрепления боков подэтажных штреков по мощным крутым пластам на шахтах Прокопьевско-Киселёвского района в Кузбассе. С их помощью здесь крепят ежегодно 5–6 км выработок.

Металлический распорный анкер состоит из круглой стальной штанги (стержня) диаметром 16–22 мм со специальной распорной головкой конусного или клинового типа, опорной плитки или натяжной гайки. Такие анкеры называют соответственно *распорно-конусными* и *распорно-клиновыми* (*клинораспорными*).

Металлический клинораспорный анкер ШК-1М (рис. 19) конструкции ВНИИ-гидроуголь состоит из стальной штанги 3 диаметром 20 мм, на одном конце которой выштампована клинораспорная головка 1, на другом – нарезана резьба, двух полумуфт 2 с рифлениями (ребрами) на наружной стороне, опорной плитки 4 и натяжной гайки 5. Полумуфты с внутренней стороны имеют сужающийся канал, что позволяет фиксировать их на клинораспорной головке штанги в процессе установки.

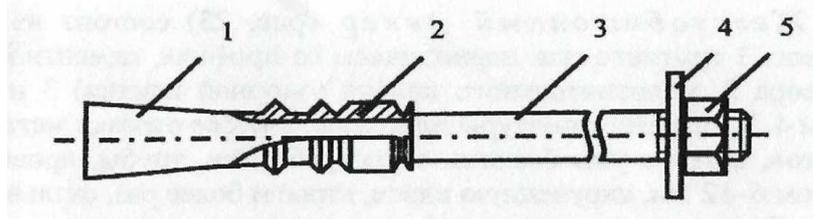


Рис. 19 Конструкция металлического клинораспорного анкера ШК-1М

Анкер ШК-1М устанавливают в скважине с применением установочной трубы. Перед установкой анкера полумуфты накладывают на распорную головку штанги. Затем на штангу надевают установочную трубу и вместе с ней анкер вводят в скважину и прижимают к её донной части. Ударами по выступающему из скважины концу установочной трубы полумуфты перемещают вверх. При этом они раздвигаются и внедряются в стенки скважины. После извлечения установочной трубы из скважины ставят опорную плитку и затягивают гайку.

Преимуществами анкера ШК-1М являются простота конструкции, надежность в работе, невысокая себестоимость. Поэтому он получил широкое распространение на шахтах Кузбасса. К недостаткам следует отнести возведение анкера при помощи установочной трубы.

Анкеры серийно выпускают механические заводы Кузбасса.

Металлический клинораспорный анкер АК-8у (рис. 20) конструкции КузНИУИ состоит из штанги диаметром 20 мм, клинораспорной головки, двух полумуфт, опорной плитки и гайки. На наружной стороне полумуфт имеется пять рифлений – выступов треугольной формы (у анкеров ШК-1М – два выступа), на – сужающийся канал, как и у анкера ШК-1М. Полумуфты изготовляют штамповкой.

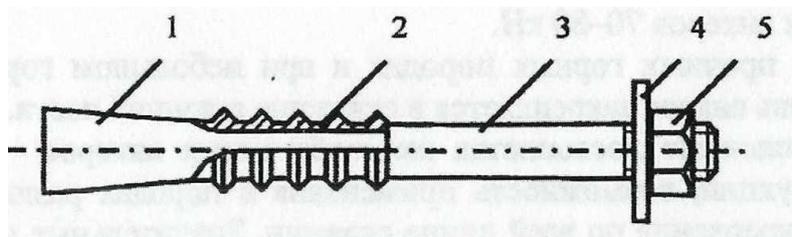


Рис. 20. Конструкция металлического клинораспорного анкера АК-8у

В последние годы КузНИУИ разработан и изготавливается серийно *металлический клинораспорный анкер АКМ* диаметром штанги 16 мм. Конструкция этого анкера такая же, как и анкера АК-8у. Диаметр реза для бурения скважин под анкер АКМ 30 мм, наружный диаметр буровой штанги 26 мм. На механических заводах в Кузбассе резцы и буровые штанги для бурения скважин под анкеры АКМ изготавливают серийно.

Анкеры АК-8у и АКМ устанавливают в скважине с помощью установочной трубы таким же образом, как и анкер ШК-1М.

Анкеры ШК-1М, АК-8у и АКМ широко применяют на шахтах Кузбасса для крепления капитальных и подготовительных выработок, расположенных как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ.

Металлический клинораспорный анкер с двухперой гильзой (рис. 21) состоит из стальной штанги 3 диаметром 20 мм, на одном конце которой выштампована клинораспорная головка 1, на другом – нарезана резьба, двухперой гильзы 2, опорной плитки 4 и натяжной гайки 5.

Металлический клинораспорный анкер с двухперой гильзой устанавливают в скважине с применением установочной трубы. Перед установкой анкера двухперую гильзу надевают на распорную головку штанги. Затем на штангу надевают установочную трубу и вместе с ней анкер вводят в скважину и прижимают её к донной части. Ударами по выступающему из скважины концу установочной трубы двухперую гильзу перемещают вверх. При этом усы у гильзы раздвигаются и внедряются в стенки скважины. После извлечения установочной трубы из скважины ставят опорную плитку и затягивают гайку.

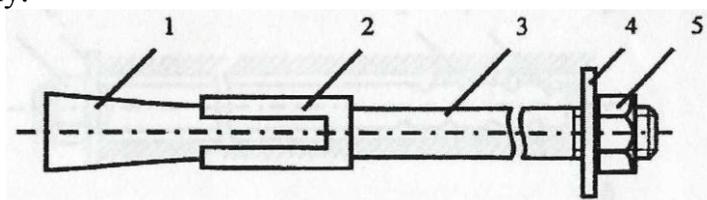


Рис. 21. Конструкция металлического клинораспорного анкера с двухперой гильзой

Преимуществами клинораспорного анкера с двухперой гильзой являются простота конструкции, надежность в работе, невысокая себестоимость. И поэтому он получил широкое распространение на шахтах Кузбасса. К недостаткам следует отнести возведение анкера при помощи установочной трубы.

К группе *беззамковых* относятся сталеполимерные, железобетонные, винтовые, полимерные и другие анкеры.

Сталеполимерный анкер состоит из штанги 1 (рис. 22), опорной плитки 3, натяжной гайки 4 и заполнителя 2 из быстротвердеющих смесей на основе синтетических смол или цементов (преимущественно смол).

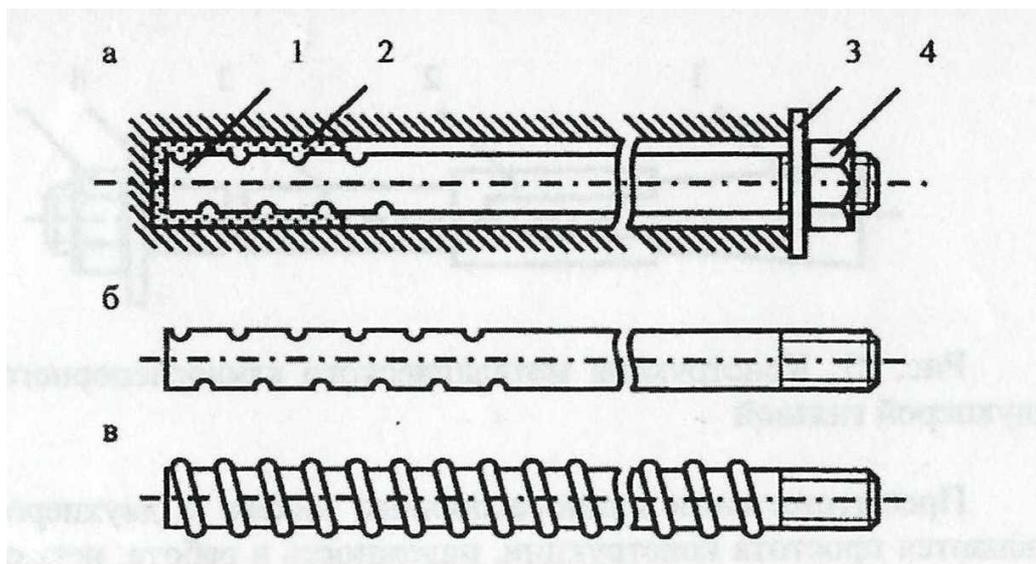


Рис. 22. Конструкция сталеполимерного анкера:
*а – анкер, установленный в скважине; б – общий вид отечественного анкера;
 в – общий вид английского анкера*

Для закрепления анкера применяют ампулы с двумя отделениями, из которых в одном заполнитель со связующим веществом, в другом – отвердитель. При установке анкера одну-две ампулы вводят в скважину и досылают до забоя штангой 1 (рис. 22). При вращении штанги ампулы разрушаются, смесь заполнителя со связующим материалом перемешивается с отвердителем и закрепляет анкер.

В последние годы на ряде шахт Кузбасса (им. С.М. Кирова, «Комсомолец», «Распадская» и др.) довольно широко применяют сталеполимерные анкеры диаметром 20 мм длиной 1,8-2,2 м. Диаметр ампул 23 мм, длина 300 и 600 мм. В качестве заполнителя (инертного) ампул применяют кварцевый песок и измельченную известь, связующих веществ – полиэфирную смолу ПН-12, отвердителя смолы – перекись бензола. Время затвердевания смеси ампулы длиной 300 мм – 15 с, ампулы 600 мм – 2 мин. Анкеры устанавливают в скважинах диаметром 30-32 мм. Следовательно зазоры между стенками скважины (породами) и штангой составляют 5-6 мм.

Железобетонный анкер (рис. 23) состоит из стального стержня 1 круглого или периодического профиля, цементно-песчаного раствора 2, уплотнительного кольца (опорной плитки) 3 и натяжной гайки 4. В качестве арматуры используют также отрезки металлических канатов, обычно уже бывших в употреблении, трубы, проволоку диаметром 6-12 мм, скрученную вдвое, втрое и более раз, стальные полосы и др. Для ускорения твердения цементно-песчаного раствора обычно добавляют ускорители твердения (хлористый кальций и др.). Цементно-песчаный раствор подают в скважину при помощи насосов, ручных шприцев или в ампулах.

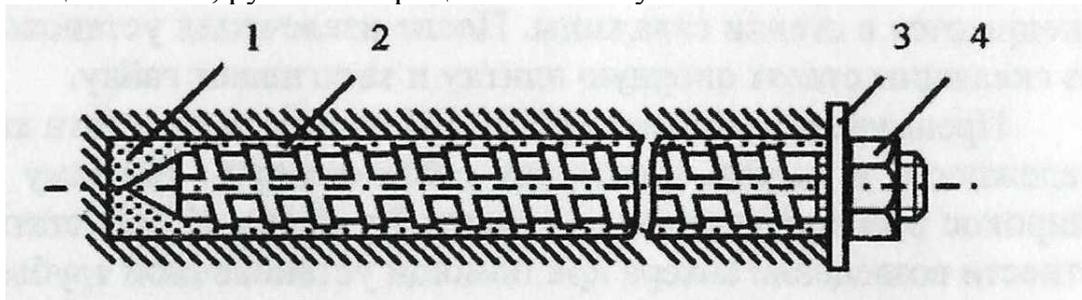


Рис. 23. Конструкция железобетонного анкера

Железобетонные анкеры по способу установки разделяют на забивные, арматурные стержни, которых забивают в скважины после нагнетания закрепляющего раствора, и на инъектируемые, когда раствор нагнетают (впрыскивают) в скважину после установки арматуры. Натяжение анкера производят после отвердения закрепляющих растворов обычно через 3–5 ч после установки. Несущая способность железобетонных анкеров 70–80 кН.

В прочных горных породах и при небольшом горном давлении стержень анкера закрепляется в скважине в донной части.

Основные достоинства железобетонных анкеров – это простота конструкции, возможность применения в породах различной прочности, закрепление по всей длине скважин. Значительные недостатки железобетонных анкеров – способность воспринимать нагрузку только после набора бетоном надлежащей прочности, т.е. через 10–12 ч, что ограничивает область применения. Железобетонные анкеры довольно широко применяют на рудных шахтах.

Винтовой анкер (рис. 24) представляет собой штангу из специального профиля с резьбой, имеющую наружный диаметр на 2-3 мм больше, чем диаметр скважины. Завинчивание анкера в скважину производится бурильной машиной, при этом резьба внедряется в стенки скважины на 2-3 мм, обеспечивая закрепление анкера по всей длине. Прочность закрепления винтовых анкеров в скважине составляет 90-120 кН и более.

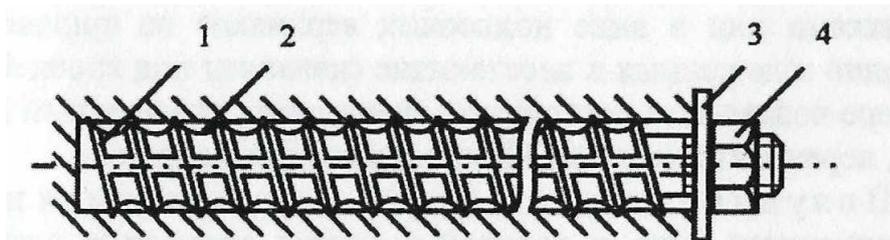


Рис. 24. Конструкция винтового анкера

Винтовые анкера испытаны и применялись в последние годы в небольших объемах на отдельных шахтах в Ленинском и Прокопьевском районах Кузбасса.

Для некоторых горнотехнических условий требуется анкерная крепь, материал которой не вызывал бы сопротивления режущему инструменту исполнительного органа выемочных или проходческих машин и которая по несущей способности не уступала бы металлической и железобетонной крепи. Этим требованиям в большей мере удовлетворяют анкеры, изготовленные из стеклопластика.

Стеклопластики представляют собой композиционные материалы, основой которых является соединено воедино стекловолокнистый наполнитель и синтетическое связующее. Наибольшей прочностью на растяжение обладают стеклопластики с предельно ориентированными стеклонитями за счет одновременной работы почти всех волокон на растяжение без их переплетения. Волокна по прочности на разрыв более чем в два раза превышают прочность стали. Кроме того, стеклопластики обладают высокой водостойкостью и низкими деформациями.

Стеклопластиковые стержни изготавливаются серийно на высокопроизводительных отечественных установках, технология изготовления их достаточно проста.

Полимерный анкер конструкции ИГД им. А.А. Скочинского (рис. 25) состоит из стеклопластиковой штанги (стержня) диаметром 18-20 мм, металлической хвостовой втулки 2 длиной 250 мм, изготавливаемой из цельнотянутой трубы с необрабо-

танной внутренней поверхностью, опорной плитки 3, натяжной гайки 4, уплотнительного кольца 5, ампулы с закрепителем. Для более равномерного распределения связующих веществ ампул по всей длине закрепляемой части штанги и увеличения силы сцепления на нее надевают пружину 7 из стали диаметром 2 мм.

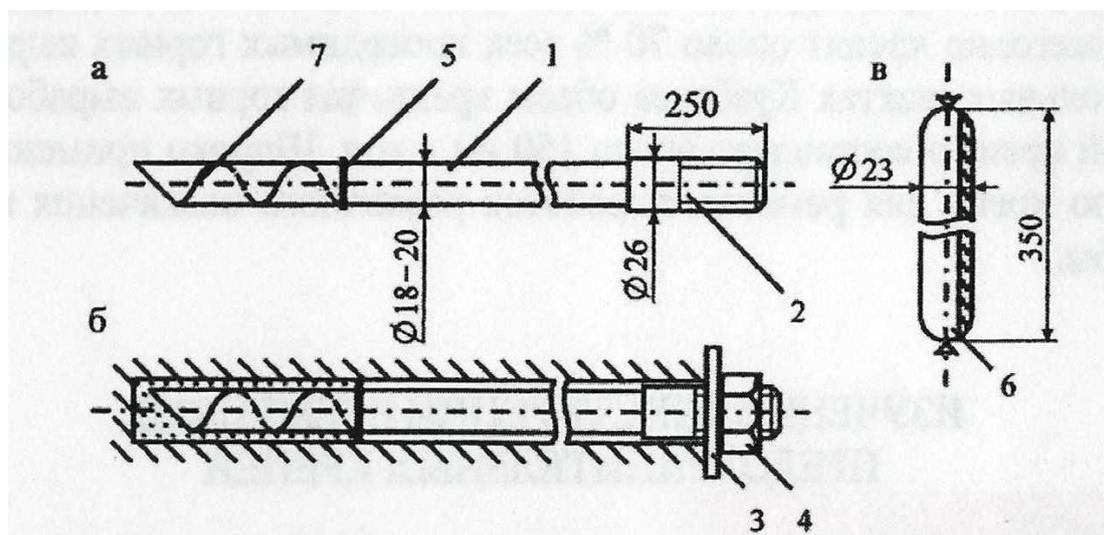


Рис. 25. Конструкция полимерного анкера:

а – общий вид анкера; *б* – анкер, установленный в скважине; *в* – ампула

Ампулы изготовляют из полиэтиленовой пленки, стекла, бумаги и других разрушающихся материалов.

Компоненты ампул обладают способностью быстрого отверждения при перемешивании в течение 5-7 с и обеспечивают высокую прочность закрепления штанг анкеров в скважинах при их установке как в породном, так и в угольном массиве независимо от материала штанг.

В Кузбассе ампулы из полиэтиленовой пленки изготовляются длиной 365 мм, наружным диаметром 35 мм, с двумя отделениями. В одном отделении помещаются смола и инертный наполнитель, а в другом – отвердитель. Применяются ампулы различного состава. Так, ВНИИГидроуголь рекомендует состав компонентов брать в следующих соотношениях: фенолформальдегидная смола – 100; наполнитель – 50-200; отвердитель – 10-30.

В качестве наполнителя используется сухой песок с содержанием глинистых включений не более 10%. Отвердитель состоит из двух компонентов – бензол – сульфокислоты (28,5 %) и ортофосфорной кислоты (71,5 %). Полимерные анкеры устанавливают в скважинах таким же образом, как сталеполлимерные анкеры.

Анкерная крепь является одним из наиболее прогрессивных и эффективных видов крепей горных выработок. Поэтому её довольно широко применяют на рудных и угольных шахтах нашей страны и за рубежом. Так, на ряде рудных и угольных шахт РФ и бывших стран СНГ анкерной крепью ежегодно крепят около 70 % всех проводимых горных выработок. На угольных шахтах Кузбасса объем крепления горных выработок анкерной крепью составляет около 150 км в год. Широко применяют анкерную крепь для ремонта выработок различного назначения и срока службы.

Виды анкерной крепи для калийных рудников ВКМКС

При эксплуатации рудников Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) для крепления горных выработок применяют *распорные (натяжные) и винтовые анкеры* [5].

Натяжной анкер с разрезным распорным замком КАС (рис. 26) состоит из стержня 1, переходящего с одного конца в клин, а на другом имеющего резьбу М 20; разрезной распорной муфты 2, состоящей из двух сухарей; плоской или сферической опорной шайбы (плитки) 3; натяжной гайки 4.

Анкер закрепляется в шпуре расклиниванием конусной части стержня с помощью двух сухарей (полумуфт).

Несущая способность Q анкера и податливость замка зависят от разности диаметров замка и шпура, прочности пород и качества установки крепи. В соляных и соленосных породах несущая способность анкера с разрезным распорным замком, определяемая прочностью закрепления замка в шпуре, составляет $5 \div 6$ тс ($0,05 \div 0,06$ МН).

Оптимальный диаметр шпура (скважины) для установки распорного анкера составляет $41 \div 43$ мм.

Предварительное натяжение P распорного анкера должно составлять $2 \div 3$ тс ($0,02 \div 0,03$ МН), для чего к гайке необходимо приложить крутящий момент $M = 12 \div 14$ кгс·м ($120 \div 140$ Н·м).

Металлические анкеры с разрезным распорным замком КАС обладают высокой деформативностью, что следует рассматривать как их недостаток. При осевой нагрузке на анкер в пределах от 2 до 12 тс (от 0,02 до 0,12 МН) смещение его в зависимости от прочности породы на вдавливание и площади контакта элементов замка с породой составляет от 20 до 80 мм.

Извлечение анкеров распорного типа для повторного использования не рекомендуется.

Достоинства анкеров с разрезным распорным замком: простота конструкции; вступление в работу практически сразу же после установки.

Недостатки анкеров с разрезным распорным замком: ограниченная несущая способность; большая податливость замков; необходимость применения установочной трубы и высокая трудоемкость крепления; сложность механизации процесса установки крепи; снижение натяжения анкеров во времени вследствие реологических процессов, протекающих как в самом стержне, так и в соляных породах под распорными элементами замка.

Изготовители натяжных анкеров с разрезным распорным замком: Копейский машиностроительный завод; ОАО «Александровский машиностроительный завод»; Березниковский механический завод; НПО «Горнефтемаш», г. Пермь.

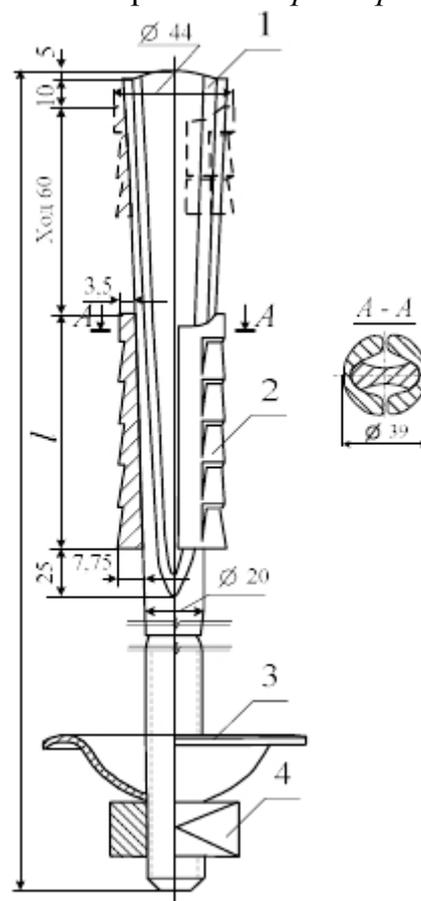


Рис. 26. Анкер с разрезным распорным замком КАС

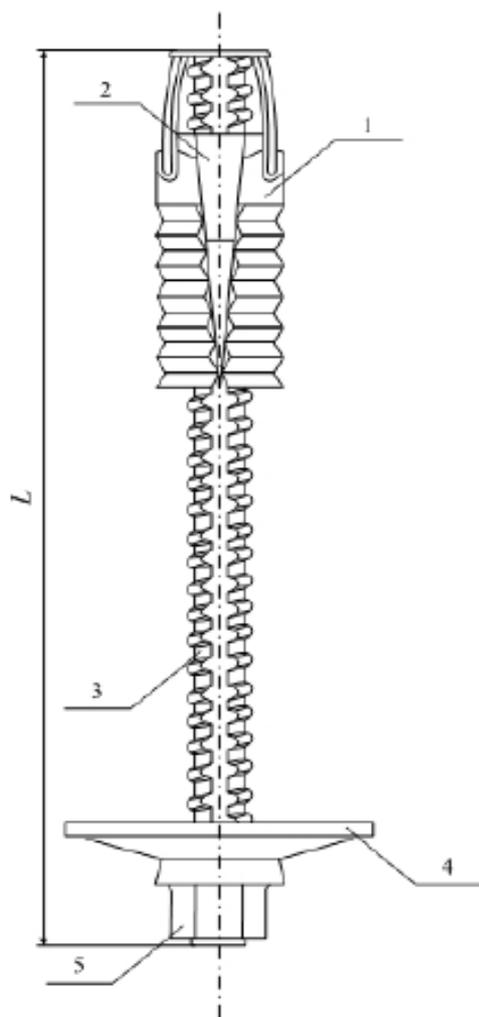


Рис. 27. Клинораспорный анкер КРА-16

Натяжной клинораспорный анкер КРА-16 (рис. 27) состоит из стержня из арматуры винтового профиля 3; трех щечек (сухарей) клинораспорного замка 1; клина с винтовой резьбой и пружины 2; опорной шайбы 4; сферической гайки 5.

Анкер закрепляется в шпуре расклиниванием трех щечек (сухарей).

Несущая способность Q клинораспорного анкера зависит от разности диаметров замка и шпура, прочности пород и величины натяжения анкера. В соляных и соленосных породах несущая способность клинораспорного анкера КРА-16 составляет $5,5 \div 6,5$ тс ($0,055 \div 0,065$ МН).

Оптимальный диаметр шпура (скважины) для установки анкера КРА-16 составляет $41 \div 43$ мм.

Предварительное натяжение P клинораспорного анкера КРА-16 должно составлять $2,0 \div 3,0$ тс ($0,02 \div 0,03$ МН), для чего к гайке необходимо приложить крутящий момент $M = 14,0 \div 15,0$ кгс·м ($140,0 \div 150,0$ Н·м).

Клинораспорный анкер КРА-16 по сравнению с анкером с разрезным распорным замком обладает: большей (на 10 %) несущей способностью; меньшей на (25 ÷ 30 %) металлоемкостью; простотой монтажа и меньшими затратами труда при установке; возможностью механизации процесса установки крепи

Изготовитель клинораспорных анкеров КРА-16 – ЗАО «Кузбасспромсервис» (г. Новокузнецк).

Винтовой анкер (рис. 28) представляет собой круглый стержень 1 с резьбой специального профиля по всей длине. На одном конце стержня высажена шестигранная головка 2 для завинчивания анкера и удержания опорной плиты 3.

Закрепление винтового анкера осуществляют за счет внедрения витков резьбы специального профиля в стенки шпура.

Необходимо, чтобы диаметр шпура был меньше диаметра винтового анкера по наружной резьбе на $4 \div 6$ мм.

Прочность закрепления винтового анкера в шпуре при заданных шаге и внешнем диаметре винта, угле профиля витков и прочности горных пород зависит от глубины завинчивания (количества витков, взаимодействующих с породой) и диаметра шпура. Например, при диаметре шпура $25 \div 27$ мм и внешнем диаметре витка 31 мм уже при шести витках замковой части анкера прочность его закрепления в соляных и соленосных породах превышает прочность стержня на разрыв.

Преимущества винтовых анкеров: вступление в совместную работу с приконтурными породами сразу после установки; сцепление с породами по всей активной длине и работа в режиме среза; достаточно высокая несущая способность, равная разрывному усилию анкера и составляющая 8,5 тс (0,085 МН); возможность полной механизации процесса крепления.

К недостаткам винтовых анкеров следует отнести: необходимость применения специальных бурильных машин или установочных механизмов и бурового инструмента на диаметр 25 ÷ 27 мм; необходимость соблюдения весьма точного соотношения между диаметрами скважины и анкера, при котором диаметр скважины должен быть меньше диаметра винтового анкера по наружной резьбе на 4 ÷ 6 мм.

Изготовитель винтовых анкеров: Березниковский механический завод (Пермский край); Солигорский механический завод (р. Беларусь).

Анкерную крепь в горных выработках возводят в соответствии с паспортом крепления, утвержденным главным инженером рудника [5].

Установку анкерной крепи осуществляют специально обученные горнорабочие.

Высокую производительность труда и требуемое качество крепления кровли обеспечивает только полная механизация всех процессов по возведению и установке анкеров. Для бурения шпуров под анкеры следует использовать специальное оборудование (навесное или самоходное), позволяющее максимально механизировать, облегчить и ускорить возведение анкерной крепи.

Технология возведения анкерной крепи включает следующие основные операции: оборку кровли и стенок от заколов; бурение шпуров; установку и крепление анкеров в шпурах.

Шпуры под анкеры бурят в соответствии с паспортом крепления. Отклонения расстояний между анкерами от проектных не должны превышать 15 см.

Длина шпуров должна быть равна активной длине анкера (меньше полной длины анкера на 50 мм).

Для обеспечения проектной глубины шпуров на буровом инструменте должны быть установлены ограничители или специальные метки.

Для надежного закрепления анкеров диаметр шпуров необходимо выдержать в пределах 41 ÷ 43 мм (для натяжных), 25 ÷ 27 мм (для винтовых).

Анкеры перед установкой подвергают контрольному осмотру для выявления дефектов. Запрещается устанавливать анкеры, подвергнутые ржавчине, изогнутые, с поврежденной резьбой и другими дефектами, способными существенно уменьшить несущую способность анкеров и затруднить их установку.

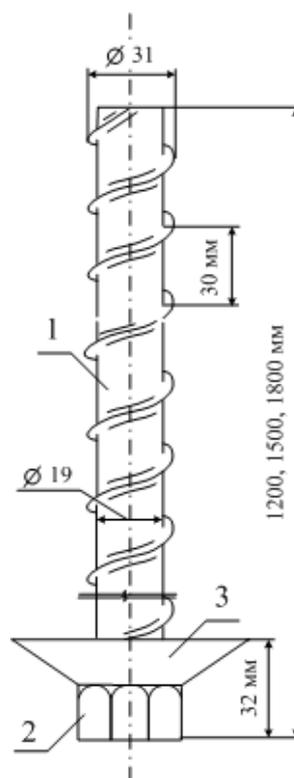


Рис. 28. Винтовой анкер

7. КОНСТРУКЦИИ ВРЕМЕННЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КРЕПЕЙ

При проведении горизонтальных и наклонных горных выработок в неустойчивых породах до возведения постоянной крепи в призабойном пространстве устанавливают *временную предохранительную крепь* следующих видов: *инвентарную*, *полуинвентарную* или *неинвентарную*.

Предохранительная крепь включает деревянные ремонтины, металлические раздвижные стойки и выдвигные балки или трубы на подвесках к верхнякам. Эту крепь возводят до 3 м от забоя сразу же после взрывания шпуров или по мере освобождения почвы выработки от взорванной породы.

Инвентарная крепь применяется в виде сборно-разборных металлических конструкций с раздвижными стойками и съемными верхняками или в виде подвесных верхняков на крючках (штырях), свободно заложенных в восстающие скважины под кровлей выработки. По мере возведения постоянной крепи рамы инвентарной крепи разбирают, переносят вперед к забою и снова устанавливают.

Полуинвентарная крепь – это конструкция крепи, например, анкерного типа, у которой верхняки снимаются легко, а анкеры (болты) – тяжело, поэтому их оставляют в кровле.

Неинвентарная крепь состоит из деревянных или металлических рам, арок, анкерных болтов (штанг), несущих прямые деревянные или металлические верхняки. В качестве этой крепи могут быть использованы другие конструкции крепи, не приспособленные или неудобные для снятия, переноски и повторного применения. По мере возведения постоянной крепи неинвентарная крепь навсегда остается в выработке. Её бетонируют за опалубкой или только частично разбирают с неизбежными повреждениями, которые исключают возможность повторного использования.

Инвентарная предохранительная выдвигная крепь (рис. 29) состоит из скоб 1 и 2, изготовленных из металлического прута периодического профиля диаметром 25-30 мм. Скобы шарнирно связаны между собой планкой 3, несущей выдвигную балку 4, и плотно стягиваются через две планки 5 и 6 болтом 7 после навески устройства на нижнюю полку двутаврового верхняка.

Данная крепь имеет широкое распространение в угольных шахтах. Обычно несущим элементом этой крепи являются двутавровые балки или стальные трубы, пропущенные через переносные скобы из стального прута круглого или квадратного поперечного сечения. Скобы набрасывают на верхняки постоянной крепи. На выдвинутые к забою балки укладывают деревянные или металлические верхняки с расклинкой в кровлю.

Временная предохранительная штыревая крепь (рис. 30) применяется для выработок трапециевидного поперечного сечения. Эта крепь состоит из круглого деревянного верхняка и двух металлических штырей. Один конец штыря заострен, другой – откован в виде кольца. Для установки штыревой крепи пробуривают две скважины (по одной скважине в верхней части с каждой стороны выработки). В скважины вводят по одному штырю, а в их кольца пропускают концы верхняка, поверх которого укладывают затяжки, а затем всю конструкцию, как правило, расклинивают. На установку одного верхняка два проходчика затрачивают 20-25 мин, а снятие верхняка и извлечение штырей – 10 мин.

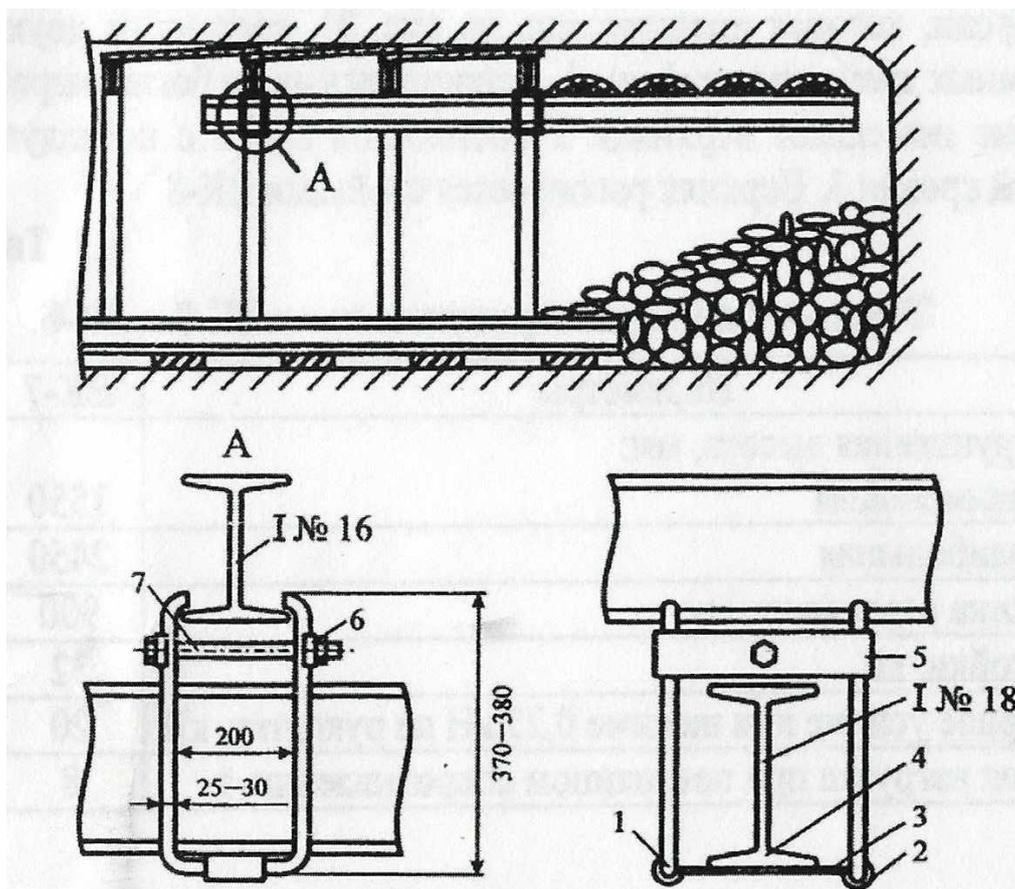


Рис. 29. Конструкция инвентарной предохранительной выдвижной крепи

Применяется также и другая разновидность подвесной крепи, в которой штырь и кольцо представляют собой отдельные детали.

В Кузбассе успешно применялись штыри из прута, согнутого вдвое и отогнутого вниз в виде крючка, на который укладывался конец верхняка.

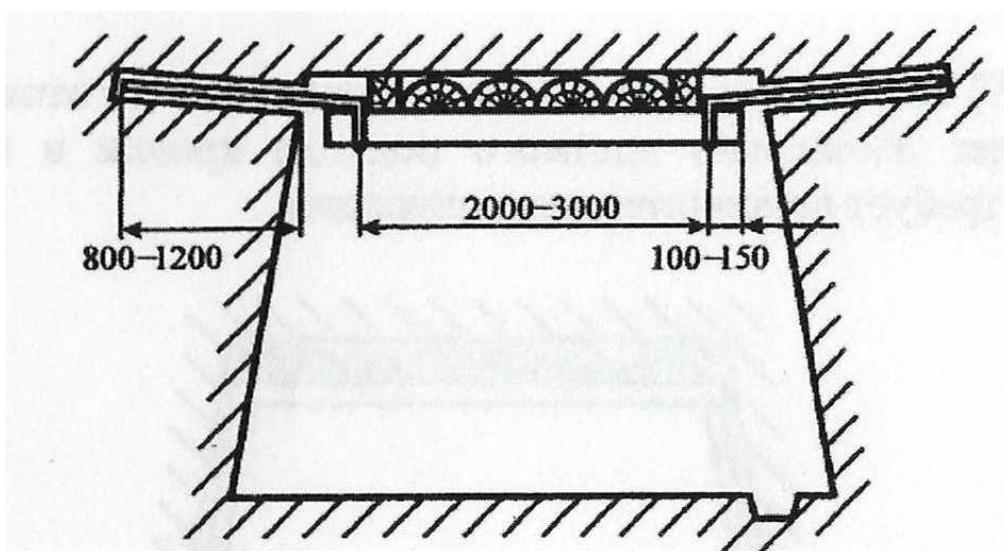


Рис. 30. Конструкция временной предохранительной штыревой крепи

Временная предохранительная анкерная крепь с металлическим верхняком (рис. 31) относится к *полуинвентарной*, так как извлекать анкеры не всегда удается. Эта крепь может быть инвентарной только в породах достаточной крепости, которые не успевают зажать анкеры до подхода постоянной крепи.

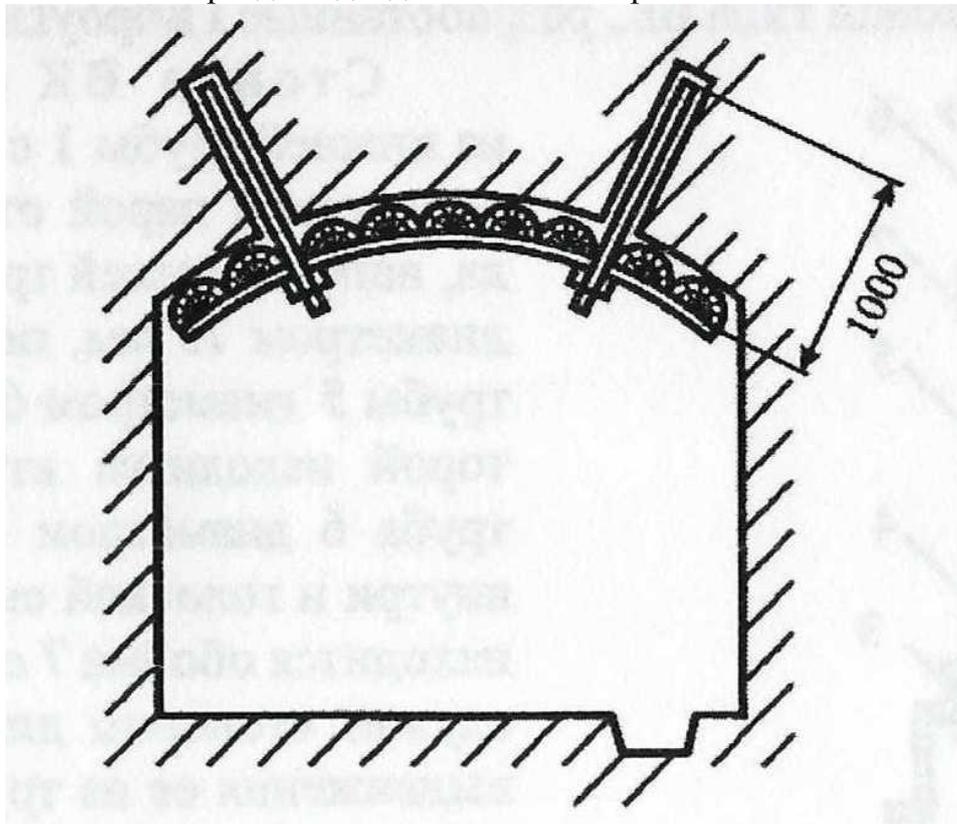


Рис. 31. Конструкция временной предохранительной анкерной крепи

Временная предохранительная металлическая крепь из телескопических труб с закреплением их сквозными штырями (рис. 32) хотя и несложна по конструкции и в изготовлении, но не обеспечивает достаточно плотного подхода кровли и при подъеме верхняков требует дополнительных операций.

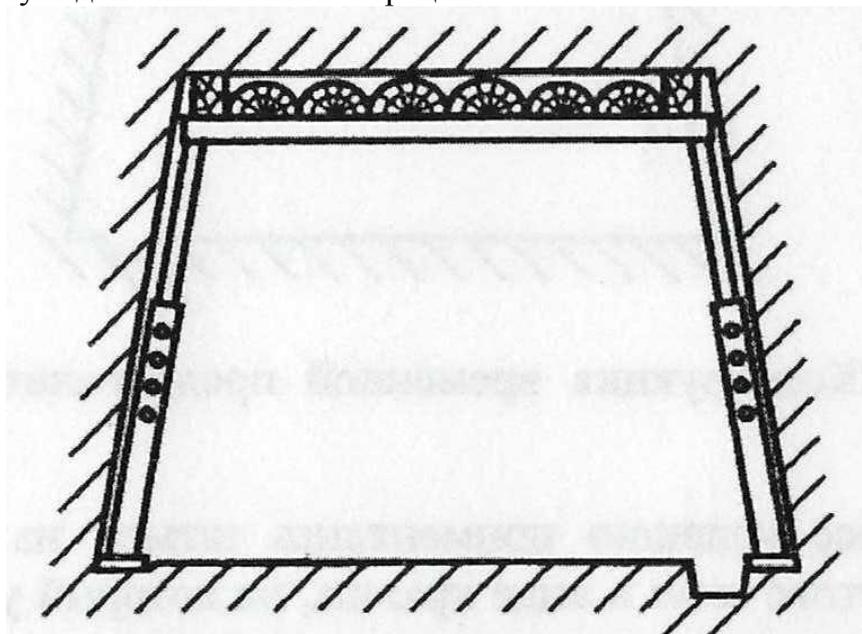


Рис. 32. Конструкция временной предохранительной металлической крепи

На некоторых шахтах при проведении подготовительных выработок в качестве временной переносной крепи применяются *переносные инвентарные стойки типа ВК*, разработанные Гипроуглемашем.

Стойка ВК (рис. 33) состоит из нижней трубы 1 с пятой 2, узла 3 с конической парой от ручного привода, направляющей трубы 4 наружным диаметром 73 мм, первой подвижной трубы 5 диаметром 63 мм, внутри которой находится вторая выдвижная труба 6 диаметром 48 мм с винтом внутри и головкой сверху. На трубе 6 находится обойма 7 с клином, которая служит стопором для трубы 6 после выдвижения её из трубы 5. Недостатком такой стойки является большой вес (32 кг) и сложность конструкции (коническая передача).

Технические характеристики стоек типа ВК представлены в таблице 12.

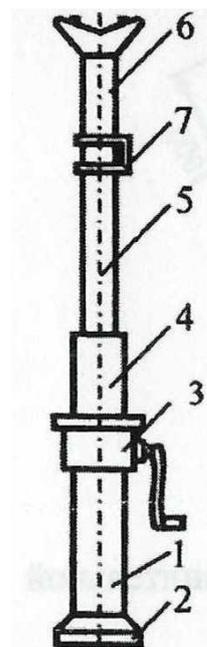


Рис. 33. Инвентарная стойка типа ВК

Таблица 12

Техническая характеристика стоек ВК-7 и ВК-8

Параметры	ВК-7	ВК-8
Конструктивная высота, мм: наименьшая /наибольшая	1550/2450	2000/2900
Величина раздвижки, мм	900	900
Вес стойки, кг	32	35
Распорное усилие при нажиме 0,25 кН на рукоятку, кН	20	20
Рабочая нагрузка при постоянном сопротивлении, т	8	8

Предохранительная консольная крепь конструкции ВостНИИ (рис. 34) относится к *переносной консольной* конструкции крепи и состоит из двух быстроразъемных треугольных ферм 1, установленных по бокам выработки, которые помещают верхняки 2 постоянной крепи с последующей затяжкой кровли 3. Верхняк распирается стойками ВК-8.

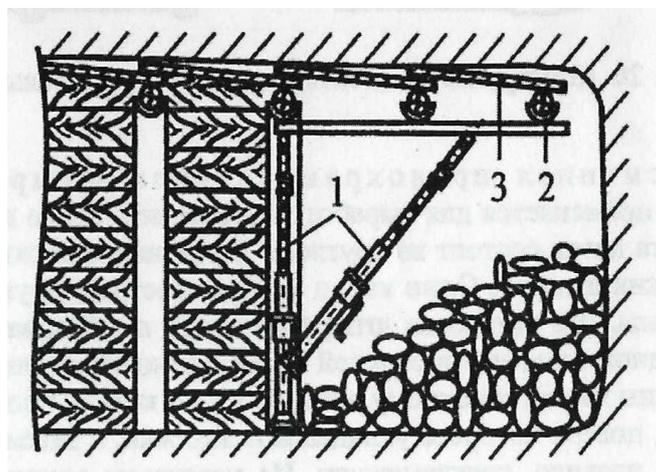


Рис. 34. Предохранительная консольная крепь конструкции ВостНИИ.

Контрольные вопросы

1. Срок службы деревянной крепи и способы его продления.
2. Способы защиты металлических крепежных материалов от коррозии.
3. Типы профилей для изготовления металлических рамных крепей горных выработок. Марки стали, используемые для этих профилей.
4. Что понимают под вяжущими веществами, бетонным раствором, бетоном и железобетоном?
5. Перечислите основные виды специальных бетонов и дайте краткую характеристику каждого из них.
6. На какие виды подразделяется арматура железобетонной крепи горных выработок? Каковы конструктивные особенности и назначение каждого вида арматуры?
7. Что представляют собой полимерные крепежные материалы для изготовления горной крепи: углепласт; стеклопластики; полимербетон
8. Для чего предназначены межрамные ограждения? Перечислите основные виды затяжек.
9. Перечислить и дать краткую характеристику основных конструкций металлических межрамных ограждений.
10. Что представляет собой рулонное стеклопластиковое межрамное ограждение и каковы его основные достоинства, недостатки и область применения?
11. Перечислите достоинства и недостатки, условия и область целесообразного применения монолитных бетонных крепей.
12. Что понимают под анкерной крепью и чем она отличается от штанговой крепи горных выработок? В чем заключается принцип работы анкерной крепи?
13. Перечислите, на какие группы делятся анкера по материалу, из которого они изготовлены, и по принципу закрепления в скважине.
14. Что представляет собой конструкция смешанной крепи из деревянных стоек и металлического верхняка и каковы ее достоинства?
15. К какой группе анкеров по принципу закрепления в скважине относится сталеполимерный анкер? Какова его конструкция и порядок установки в скважине?
16. Конструкция железобетонного анкера. Его разновидности. Достоинства и недостатки.
17. Назначение полимерного анкера. Материалы для его изготовления и их достоинства. Порядок установки в скважине.
18. Что понимают под временной предохранительной крепью? Перечислите основные виды данной крепи.
19. В чем заключается принципиальное отличие неинвентарной предохранительной крепи от инвентарной и полuinвентарной?
20. В чем заключается принципиальное отличие временной предохранительной штыревой и анкерной крепи горных выработок?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нестерова С.Ю. Основы горного дела. (Общий курс. Строительная геотехнология). : курс лекций. – Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – 100 с.
2. Першин В.В., Будников П.М. Конструкции крепей подземных сооружений: лабораторный практикум – ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 105 с.
3. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с Изменениями N 1, 2, 3). – Электрон. текстовые дан. – М.: Минстрой России, 2015 год – Режим доступа: Информационная система Техэксперт: Интранет, компьютер. сеть НБ ПНИПУ.
4. Инструкция по применению анкерной крепи на рудниках ОАО «Уралкалий». – Пермь, 2008.
5. Технологический регламент по охране и креплению горных выработок на рудниках ПАО «Уралкалий». – Пермь - Березники, 2015.

Учебное издание

НЕСТЕРОВА Светлана Юрьевна

**ГОРНАЯ КРЕПЬ
ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК
ШАХТ И РУДНИКОВ**

Учебное пособие

Корректор *Н.В. Шиляева*

Подписано в печать 20.06.2018. Формат 60×90/16.
Набор компьютерный. Усл. печ 5,9.
Тираж 20. Заказ 393/2018

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии центра
«Издательство Пермского национального исследовательского
политехнического университета».
Адрес: 614990, г. Пермь. Комсомольский проспект, 29, к. 113
Тел. (342) 219-80-33.