

В 75

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

**ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
И УКРЕПЛЕНИЯ ПОРОД**

МОСКВА 1971

2000

62298
B75

МИНИСТЕРСТВО ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
И УКРЕПЛЕНИЯ ПОРОД

ТЕХНИЧЕСКАЯ	
СЕРИЯ	
Шифр	5/14
Инв. №	

МОСКВА 1971

ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ
ВЫРАБОТОК И УКРЕПЛЕНИЯ ПОРОД

В. С. Воронин

А н н о т а ц и я

В брошюре анализируется практика отечественных и зарубежных рудников по разработке и внедрению новых видов крепи и укрепляющих материалов, предназначенных для сохранения горизонтальных горных выработок в устойчивом состоянии. Приводятся характеристики изоляционных покрытий стенок выработок, синтетических смол и других химических материалов и способность их нанесения.

Настоящий обзор является первой попыткой обобщить накопленный опыт по использованию химических материалов при креплении горных выработок и укреплении пород.

Редактор института "Цветметинформация"
Н. К. Головачев

СОЗДАНИЕ ПОДДЕРЖИВАЮЩЕЙ КРЕПИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы для создания пластобетонов и стеклбетонов

На крепление выработок расходуются значительные средства. Велики также затраты на ремонт и замену крепи. Снижение этих затрат всего лишь на 10–15% позволит ежегодно экономить в масштабе цветной металлургии до 10 млн. руб. Применение более надежных и долговечных видов крепи улучшит условия работы рудников, будет способствовать повышению производительности труда и безопасности работ.

Внедрение набрызг-бетонной крепи оказало существенное влияние на технико-экономические показатели горных работ: получен большой экономический эффект (не менее 60 руб. на метр закрепляемых выработок), сократился объем перекрепок, улучшились санитарно-гигиенические условия труда.

Однако дальнейшее совершенствование конструкций известных видов крепи (металлическая, бетонная и др.) уже не может привести к существенному изменению технико-экономических показателей горных работ.

Большие возможности в этом направлении открываются в связи с разработкой большого числа новых химических материалов с высокими механическими свойствами. В последнее время ряд научно-исследовательских институтов провел значительные исследовательские и опытные работы по использованию химических материалов для поддержания выработок и укрепления горных пород.

Известно, что наиболее существенными недостатками применяемого цементного камня являются недостаточная его плотность, подверженность коррозии под действием ряда реагентов и малая его упругость.

Вышеуказанные качества бетона могут быть значительно улучшены при использовании полимеров. Полимеры применяют как дополнительное вяжущее к цементу и как самостоятельные вяжущие. С применением полимерных материалов могут быть созданы конструк-

ции, в которых, в зависимости от характера нагрузки, одна часть может быть изготовлена с полимерным вяжущим, другая — с цементным вяжущим.

Полимерные материалы могут быть использованы для создания изолирующих пленок, склеивания бетонных деталей, изготовления элементов крепи и др.

В качестве материалов, способных улучшить свойства цементного камня, рекомендуется использовать поливинилацетатную эмульсию, каучуковый латекс, фурфуровый спирт, фенолформальдегидные и карбамидные смолы, фурфуролацетоновые соединения, эпоксидные и полиэфирные смолы и другие полимерные вяжущие. С использованием этих материалов образуются так называемые пластобетоны. Если же в пластобетон введены арматуры в виде нитей, стоек, каркасов или отдельных мелкоразмерных элементов особо высокой прочности, образуется новый материал — армопластобетон.

Из группы фенолформальдегидных смол для приготовления пластобетона наибольший интерес представляют резольные смолы, которые отвердевают при добавлении серной кислоты, керосинового контакта Петрова и др. (15–30% веса смолы). Для повышения упругоэластических и динамических характеристик эти смолы совмещают с каучуками, поливинилацетатами, полиамидами.

Фурфурол как самостоятельное связующее не нашел широкого применения. Он служит ускорителем полимеризации и, в известной степени, пластифицирует составы. Его добавляют для разжижения вязких смол.

Большой интерес как связующее вещество представляют фурфуролкетонные смолы, например, мономер ФА — смола, получаемая конденсацией фурфурола в ацетоне [1]. Он отвердевает при добавлении бензосульфокислоты (БСК) в количестве 15–25% веса мономера, а также серной кислоты, керосинового контакта Петрова (25–30% веса связующего) или их сочетания в соотношении 1:1. Реакция полимеризации мономера ФА высокоэкзотермическая (около 116 ккал/г), что требует аккуратности при дозировке.

Мономер ФА обычно применяется с добавкой фурфурола, который повышает смачивающую способность связующего и улучшает прочность материала. В результате твердения мономера ФА образуется прочный, но хрупкий продукт. Сделаны попытки пластификации фурфуролацетонового связующего введением в его состав полиамидной смолы, каучуков и битумов.

Полимеризация полиэфирных смол протекает под воздействием инициатора в сочетании с ускорителями. В качестве инициатора применяют 1–4% перекиси бензоила, циклогексанола, метилэтилкетона,

гидроперекись изопропилбензоила (гипериз). Ускорителями являются нафтенат кобальта и марганца, третичные амины и др. Лучшими сочетаниями инициаторов с ускорителями являются перекись бензоила - диметиланилин, перекись циклогексанона - нафтенат кобальта (0,1-0,5%), гипериз - нафтенат кобальта (6-8%).

Наиболее часто в качестве связующих в пластобетонах применяются жидкие эпоксидные смолы ЭД-5, ЭД-6, Э-40, ЭДФ-3, твердеющие без выделения побочных продуктов с образованием материалов высокой плотности. Для отвердевания эпоксидных смол используют алифатические (этилендиамин и полиэтиленполиамин), ароматические (*m* - финилендиамин, метилендиамин, диаминодифенилсульфон) и другие вещества.

Эпоксидные смолы редко применяют в чистом виде. Хорошая совместимость этих смол с разнообразными органическими продуктами облегчает их модификацию, цель которой, наряду с удешевлением составов, - усиление тех или иных свойств смол. Эпоксидные смолы совмещают с фенольными, фурановыми, полиэфирными, карбамидными смолами, с термопластами, сланцевыми и другими материалами.

В качестве связующих для пластобетонных используют и эпоксиднофурановые составы. С целью снижения вязкости эпоксидные смолы можно совмещать с мономером ФА, но такие составы необходимо пластифицировать.

Свойства пластобетона в значительной степени зависят от вида и качества наполнителей. При подборе наполнителей необходимо исключить возможность нежелательных химических реакций в зоне контакта органической и минеральной фаз. Так, например, нельзя использовать наполнители с щелочной реакцией (известняки, доломиты, цемент, асбест и др.) при фенольно-формальдегидном связующем и мономере ФА.

Хорошими наполнителями для пластобетонных, затвердевших с помощью кислот, являются щебень и мука изверженных горных пород - андезитов, диоритов, диабазов, габбро и др. Для пластобетонных на полиэфирных и эпоксидных смолах реакция наполнителя не имеет решающего значения.

Применение легких наполнителей (керамзита и перлита) позволяет получить теплоизоляционные пластобетоны с малым объемным весом. Наполнители снижают усадочные и температурные деформации.

Небольшая доза наполнителя нарушает однородность смолы, вследствие чего прочность такого пластобетона оказывается ниже прочности смолы. При увеличении содержания наполнителя до 75-90% веса пластобетона его прочность превосходит прочность смолы.

При этом смола переходит в состояние тонких ориентированных пленок. Излишнее содержание наполнителя также снижает прочность пластобетона. Состав наполнителей должен быть выбран так, чтобы можно было получить пластобетон высокой плотности, что достигается одновременным применением песка и муки.

Влияние наполнителей на прочность пластобетона, созданного на основе эпоксидной смолы ЭД-6, пластифицированной дибутилфталатом (отвердевание происходило с помощью полиэтиленполиамин), показано в табл. I.

Т а б л и ц а I

Влияние вида наполнителей на прочность пластобетона

Наполнитель	Предел прочности при сжатии, кг/см ²	Удельная ударная вязкость, кгсм/см ²	Твердость (по Бринеллю), кг/мм ²
Пылевидный кварц	834	4,5	22,5
Стальной порошок	777	4,2	16,1
Кокс	694	3,3	11,0
Сажа	828	3,2	16,5
Тальк	426	2,7	12,8
Лесс	445	2,5	9,7
Каолин	605	2,5	15,8
Алюминиевый порошок	350	4,0	9,0

Скорость полимеризации и конечные свойства пластобетонных в большой степени зависят от влажности наполнителя (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Влияние влажности наполнителя (песка) на прочность при сжатии пластобетона, созданного на основе смолы ПН-I, кг/см²

Состояние наполнителя (песка)	Возраст пластобетона, сутки				
	I	3	7	14	28
Мокрый, влажность 3-4%	80	90	109	163	260
Воздушно-сухой, влажность 0,2-0,5%	628	912	978	1006	1252
Высушенный при температуре 110°C в течение 3-х часов, влажность 0,1%	-	984	1050	1160	1255

Твердение пластобетона при обычной температуре в первые сутки идет быстро. Через 7 суток пластобетон набирает 70-85% прочности 28-дневного возраста. Но полностью твердение заканчивается на 50-60-е сутки. Отверждение при температуре 60-80° длится 25-30 мин., при этом прочность пластобетона соответствует его прочности в 28-дневном возрасте.

Большое влияние на процесс твердения и прочность пластобетона оказывает влажность окружающей среды. Высокой чувствительностью к влажности воздуха при твердении отличаются пластобетон на основе мономера ФА и полиэфирных смол, в меньшей степени - эпоксидные смолы.

При твердении пластобетона дают усадку (объемная усадка пластобетона на основе мономера ФА-0,1-0,2%). Усадка сокращается с увеличением степени наполнения. Для всех составов наибольшие усадочные деформации проявляются при ускоренном твердении в воздухе с низкой относительной влажностью.

Пластобетонам свойственна "ползучесть", но она может быть снижена подбором наполнителей, обеспечивающих наибольшую плотность при минимальном расходе связующего, уплотнением смеси (например, прессованием), упрочнением волокнистыми материалами и стальной арматурой, полным отверждением связующего нагревом. Но даже при самых благоприятных условиях работы пластобетона величина его "ползучести" остается более высокой, чем для обычного бетона. Это свойство пластобетона хорошо используется при создании из него шахтной крепи, обладающей некоторой податливостью при значительных изгибающих моментах.

Пластобетоны хорошо работают на растяжение и изгиб и в меньшей степени на сжатие по сравнению с обычным бетоном.

С использованием известных уже сейчас полимерных вяжущих можно получить пластобетоны со следующими характеристиками [2]: прочность при сжатии до 1500 кг/см², при растяжении до 250 кг/см², при изгибе до 500 кг/см², химическую стойкость против любых агрессивных воздействий, сопротивляемость удару и истиранию во много раз больше по сравнению с обычным цементным бетоном.

Повышения прочности пластобетона можно достичь прессованием и введением армирующих добавок, в частности стекловолоконистых материалов. Прочностные свойства некоторых таких материалов приведены в табл.3.

Пределы прочности некоторых материалов, армированных
стекловолокном [10].

Состав	Содержание стеклово- локна, вес. %	Предел прочности, кг/см ²		
		при рас- тяжении	при сжатии	при из- гибе
Глиноземистый цемент + не- прерывный стекловоло- книстый жгут	9	250	120	340
Глиноземистый цемент + руб- леный стекловолокнистый жгут	8-9	50	70	175
Глиноземистый цемент + од- нонаправленное стеклово- локно	9	620	380	870
Растворимое стекло + кремне- фтористый натрий + стекло- волокно	22	-	-	1510
Магнезиальное вяжущее + стек- ловолокно	23,1	-	-	640

Значительное влияние на прочность армированного цементно-го камня оказывает состав стекловолокна. Так, прочность при из-гибе армированных образцов составляет, кг/см²: при использовании алюмоборосиликатного волокна - 275-300, базальтового волокна - 365-375, волокна № 7 - 240-290, волокна № 65 - 285-235, квар-цевого волокна - 330-425.

Высокой механической прочностью отличаются стеклопластики, в которых вяжущими являются синтетические смолы, а наполнителями - различные стеклянные волокна. Эти материалы имеют также высокое сопротивление удару, устойчивость в различных агрессив-ных средах, обладают плохой тепло- и электропроводностью. К не-достаткам этих веществ можно отнести низкий модуль упругости (по сравнению с металлом), значительную усадку, частичную потерю прочности при воздействии воды, высокую стоимость материала.

Применение стекловолокна обусловлено тем, что стеклянные волокна имеют значительную прочность (табл. 4).

Предел прочности стекловолокна и некоторых других материалов при растяжении

Вещества	Предел прочности при растяжении, кг/мм ²	
	объемного образца	волокна ^{*)}
Кварцевое стекло	6-8	1000-2500 (3-6)
Силикатное стекло	4-6	200-600 (2-6)
Карбинол	2-2,8	50-80 (3-6)
Ацетатцеллюлоза	5,3-8,7	15-20 (15-20)

*) В скобках указан диаметр волокон, мк.

Прочность стекловолокна более чем в 10 раз превосходит прочность других синтетических волокон. Оно не подвержено гниению, не гигроскопично, теплостойко. Наиболее часто применяемые стекловолокна (толщина 9-11 мк) имеют удельный вес 2,48 г/см², предел прочности при растяжении 125-250 кг/мм², модуль упругости 7000-8000 кг/мм², удельную прочность 50-100, удлинение 2-3%, коэффициент Пуассона 0,20-0,25. Прочность тканей из стекловолокна при растяжении значительно ниже, чем у волокон, что объяснимо многочисленными изгибами и кручением их в ткани.

Связующими для стеклопластиков применяют полиэфирные, фенолформальдегидные и эпоксидные смолы.

Прочность армированных пластмасс во многом зависит от исходных материалов, методов изготовления, а также количественного соотношения армирующего и связующего веществ (табл.5).

Из таблицы видно, что при одном и том же связующем значительное влияние на прочность оказывает ориентация армирующих элементов. Повышенная прочность стеклопластиков с ориентированными стекловолокнами обеспечивается за счет одновременности работы почти всех волокон, отсутствия их переплетений, которые всегда приводят к местным контактным напряжениям, а также более плотной структурой стеклопластика. Стеклопластики с ориентированными (направленными) волокнами по удельной прочности превышают более чем в 2 раза, самую прочную высоколегированную сталь.

При выборе армирующей добавки наряду с ее прочностью необходимо учитывать и прочность сцепления волокна со связующим.

Предел прочности армированных пластиков [3]

Тип стекло- пластика	Свя- зующее	На- пол- ни- тель	Удельный вес	Предел прочности, кг/см ²		
				при изги- бе	при сжа- тии	при рас- тяжении
Стеклопластик формованный	ПН-1	С	1,85	2100-3500	800-3200	1800- 3500
Стеклопластик прессованный	Р-2	С	1,8	3000	3900	2800
Стеклопластик прессованный	ЭД-5	С	1,8-1,9	5000	3800	3900
Волокнит прес- сованный	Р-2	П	1,4	500	1200	300
Стеклотексто- лит (моди- фицир.)	Р-2	С	1,4	1600	1500	1000
Стеклопластик АГ-4В	Р-2М	П	1,7-1,75	1500-2000	1300-2000	800-1200
Стеклопластик ДСВ	Р-2М	НР	1,7-1,85	3000-4000	1200-1300	1000-1400
Стеклопластик АГ-4С	Р-2М	НК	1,8-1,9	5000	2800	7000
Стеклопластик ЛОС	Р-2М	ННК	1,8-1,9	6400	4000	9000
Стеклопластик СВАМ	карба- мидное с фе- нольным	ННК	1,73-1,74	2900-3900	-	4300-4500
Стеклопластик СВАМ	ЭД-6 реноль- ным	сННК	1,83-1,79	2100-2200	-	2500-2600
Стеклопластик СВАМ	ЭД-6	ННК	1,9-1,88	4100-4600	-	4500-4700

Условные обозначения: С - стеклоткань; П - путанка;
НР - нить рубленая; НК - нить крученная; ННК - нить некру-
ченная.

Так, пропиленовое волокно и асбест с полиэфирной смолой образуют материал с невысокой прочностью.

Стеклопластики имеют сравнительно низкий модуль упругости, повысить который можно применением в качестве армирующего материала стальной проволоки и прежде всего тонкой металлической нити диаметром 6 мк.

Влажностные факторы отрицательно влияют на сопротивляемость стеклопластиков длительным механическим напряжениям [4]. В результате увлажнения возможно не только увеличение скорости деформации, но и изменение ее характера. Так, при одинаковых напряжениях под действием влаги наблюдается не только увеличение начальных деформаций и скорости деформирования, но и развитие области возрастания "ползучести", приводящей к разрушению образцов. При кратковременном воздействии воды и напряжениях, не превышающих 20-25% от кратковременной прочности, упруговязкие деформации не успевают развиться. При больших нагрузках у увлажненных образцов деформации нарастают быстрее, чем у сухих.

При длительных нагрузках прочность стеклопластиков уменьшается [5]. На основе испытаний выведены следующие коэффициенты длительного сопротивления: при сжатии - 0,72, при растяжении - 0,62, при статическом изгибе - 0,65.

Свойства стеклопластиков могут быть улучшены путем химической обработки их поверхностей веществами, включающими в себя группы, взаимодействующие со стеклом, и группы, образующие химическую связь с молекулами связующего (например, растворимое в воде кремнийорганическое вещество АГМ-3). Обработка этим веществом стеклопластика на основе фенолофурфуроформальдегидной смолы позволило повысить прочность его на статический изгиб (после двухчасового кипячения в воде) с 2580 до 3725 кг/см².

В настоящее время различные материалы на основе или с использованием синтетических смол находят все большее применение в шахтном строительстве и, в частности, при креплении горных выработок. Зачинателем в этом деле явилась угольная промышленность. Уже известны примеры применения рамных конструкций крепи, элементы которых изготовлены из пластобетона, гидравлических стоек из стеклопластиков, средств поддержания и гидроизоляции стволов шахт, а также средств предохранения от преждевременного истирания крепи и породы в рудоспусках из пластобетона.

Опыт угольной промышленности может быть использован и рудниками цветной металлургии. В частности, можно применить арочные конструкции и из пластобетона для крепления горизонтальных выработок, пройденных в чрезвычайно тяжелых горно-

геологических условиях (например, для Текелийского и Садонского рудников). В этих же условиях можно использовать временную крепь из стеклопластиковых труб, устойчивые против истирания пластобетонные оболочки в рудоспусках и т.п.

Конструкции поддерживающей крепи из пластобетона

Пластобетон в шахтном строительстве нашел применение как материал для создания рамных конструкций крепи, а также в качестве гидроизолирующего средства для ликвидации или снижения водопритока в стволах шахт. Институт ЦНИИподземшахтострой для изготовления шахтной крепи использовал пластобетон на основе фурфуролацетонного мономера ФА с армированием его стальной арматурой [6].

Были разработаны элементы рамной крепи для горизонтальных выработок, гидроизоляция и несущие конструкции подземных коллекторов в виде пластобетонных колец.

Для изготовления элементов рамной крепи был использован следующий состав: щебень гранитный крупностью 5-10 мм - 60%, песок - 40%, мономер ФА - 10-15% и фурфурол - 2% веса заполнителя и бензосульфокислота (БСК) - 25% от веса мономера. В качестве армировки применены стальные стержни с пределом текучести 3260 кг/см^2 и пределом прочности 5060 кг/см^2 .

Твердение такого состава в первое время идет быстро, и через 7 суток прочность образцов достигает 70-85% конечной прочности. Твердение заканчивается на 50-60 суток. Прочность образцов в 28-суточном возрасте составляет, кг/см^2 : при растяжении - 60-70, при изгибе - 117, сцепления с арматурой - 105-120. Удельное сопротивление удару такого образца составляет 4-5 кг/см^2 , твердость по Бринеллю - 40-42 кг/см^2 , водопоглощение - не более 0,1%, коэффициент размягчения - 0,98-0,99%.

Из этого пластобетона на Скуратовском заводе ЦНИИподземшахтострой были изготовлены тубинги СТК для крепления стволов шахт диаметром 6,5 м и плиты Р-1 для крепления горизонтальных выработок. Элементы крепи армированы. Тубинги готовили из сегментов высотой 1040 мм, длиной дуги 1570 мм, весом 780 кг. Марка пластобетона - 600.

При испытаниях на статическую равномерно-распределенную нагрузку первые трещины в плитах обнаружены при нагрузке в 5 т (стрела прогиба - 41 мм), разрушение произошло при нагрузке 7,2 т (расчетная разгружающая нагрузка для таких же плит из обычного бетона марки 300 - около 4 т).

Позже были разработаны сталепластобетонные стойки ОПС-I и верхняки ОШВ-I [7]. Стойки этой крепи изготавливали прямоугольного сечения 160x160 мм с продольной арматурой из 4 стержней из стали периодического профиля диаметром 10-12 мм и с хомутами в виде непрерывной спирали из проволоки диаметром 4 мм. Элементы стойки сделаны пустотелыми, отверстие диаметром 110 мм, длина - 2500 мм, вес - 72-75 кг. На один элемент расходуется 10,5 кг арматуры и 0,032 м³ пластобетона. Марка пластобетона - 400-500. Расчетные нагрузки: разрушение при сжатии - 40 т, разрушение при растяжении - 5,2 т.

Верхняки ОШВ-I имеют следующую характеристику: длина - 2470 мм, вес - 80 кг, объем пластобетона на один верхняк 0,036 м³, расход арматуры - 14 кг, марка пластобетона - 500. Расчетная разрушающая нагрузка - 5,6 т, максимальный изгибающий момент - 2,8 тм.

При испытании стоек на сжатие отмечено интенсивное нарастание прогибов при нагрузке свыше 20 т. Разрушающая нагрузка - 39,8 т. Испытания показали, что пластобетонные стойки при их незначительном весе обладают вполне удовлетворительной несущей способностью на осевое сжатие.

Испытания стоек на изгиб при непрерывной статической нагрузке показали, что диаграммы прогибов в пластобетоне растянутой зоны характеризуются, как правило, плавными кривыми. Степень искривления зависит от увеличения нагрузки. Образование первых трещин в растянутой зоне пластобетона не сопровождается резким перепадом внутренних усилий благодаря раннему вовлечению в работу арматуры.

При длительном воздействии постоянных нагрузок вначале происходит интенсивное приращение прогибов, а затем темп роста прогибов замедляется, имеется тенденция полного затухания процесса увеличения деформаций (рис. 1 и 2). Напряжения в растянутой арматуре составляли 83-86% (стойки типов СПБ-2 и СПБ-3) и 60-70% (стойки типов СПБ-10, СПБ-11) предела текучести.

Несмотря на большие прогибы, явных признаков разрушения пластобетона сжатой зоны не обнаружено. При этом арматура растянутой зоны не была доведена до разрыва, не было обнаружено также заметного проскальзывания продольных стержней. Это дает основание применить для армирования этой зоны сталь любой прочности.

Установлено также, что сцепление пластобетона с арматурой значительно выше, чем у обычного бетона.

Технология изготовления конструкций из пластобетона состоит из следующих операций: смешение заполнителя с фурфуролом.

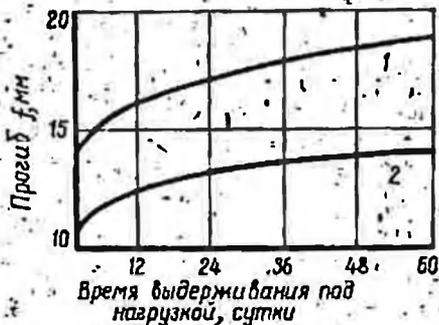


Рис. 1. График изменения прогибов пластобетонных образцов (стойки СПБ-2 и СПБ-3):

1 - стойки СПБ-2 при длительной нагрузке $R_{дл}=0,83 R_{тек}$ в течение 52 суток; 2 - стойки СПБ-3 при длительной нагрузке $R_{дл}=0,865 R_{тек}$ в течение 52 суток

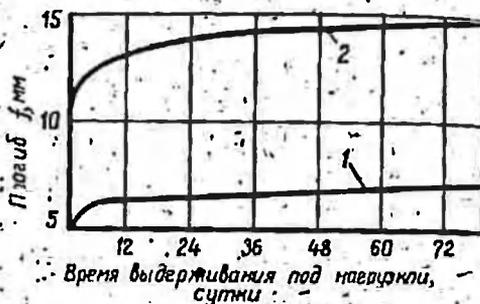


Рис. 2. График изменения прогибов пластобетонных образцов (стойки СПБ-10 и СПБ-11):

1 - стойки СПБ-10 при нагрузке $2R_{дл}=1400$ кг; 2 - стойки СПБ-11 при нагрузке $2R_{дл}=2200$ кг

(2-3 мин), смешение этого состава с мономером ФА (2-3 мин), введение в полученный замес отвердителя (1-2 мин.), загрузка смеси в формы, уплотнение на виброплощадке (20-30 сек.), распалубка. Отвердитель обычно предварительно растворяется в ацетоне.

Верхняки изготавливали таврового сечения с плоскими и усиленными консольными частями для укладки их на торцовую поверхность стойки. В растянутой зоне верхняка арматуру располагали в виде двух стержней из стали периодического профиля диаметром 16 мм. При испытаниях верхняков разрушающая нагрузка составила 6,2 т или 2,5 тм. Предельная относительная растяжимость пластобетона оказалась примерно в 2 раза больше, чем у цементных бетонов, а трещины в элементах появились при нагрузках в 1,5-2 раза больших, чем для железобетонных.

Шахтная крепь из сталепластобетонных стоек Р-1 с металлическим верхняком, была применена в откаточном штреке сечением $5,7 \text{ м}^2$ на шахте "Максимовская пологая" Ворошиловградской области [8]. Было закреплено 60 м. Для сравнения смежные участки крепили деревянными и железобетонными стойками. Применение новой крепи позволило снизить затраты труда на погрузку, разгрузку и транспортировку элементов в 2 раза, а на возведе-

ние крепи - на 40%. в 3 раза сократились потери крепи при взрывах. За 28 месяцев, в течение которых велось наблюдение, деревянная крепь была заменена полностью, на участке с железобетонной крепью было заменено 4 рамы, на участке с одной стале-пластобетонной крепью - только одна рама.

На шахте "Суходольская" № 2 пластобетонной армированной крепью был закреплен участок выработки протяженностью 340 м. Эту крепь устанавливали при проходке вентиляционной выработки сечением 8 м² на расстоянии 1,5-2 м от забоя. Защиту крепи от взрыва не производили. Потери этой крепи по сравнению с потерями железобетонных стоек были в 3-4 раза меньше. Замена железобетонной крепи сталепластобетонной существенно содействовала повышению скорости проведения выработок с 95 до 170 м в месяц.

Позже сталепластобетонная крепь была усовершенствована, вес стойки был снижен до 72-75 кг.

В 1964 г. на угольных шахтах Донбасса было изготовлено около 8 тыс. сталепластобетонных стоек. Ими было закреплено большое количество горизонтальных и наклонных однопутевых выработок как в зоне установившегося, так и неуставившегося давления. Но больше всего эту крепь применяли для перекрепки вместо деревянной и металлической крепей в откаточных и особенно в вентиляционных выработках на шахте "Иллирийская" треста "Ленинуголь" - 1000 м, № 5-бис треста "Коммунарскуголь" - 600 м. С применением этой крепи на шахте "Самсоновская" № 2 треста "Ворошиловградшахтопроходка" скорость проходки бремсберга составила 200 м в месяц. Затраты труда на доставку крепи в забои снизилась на 5%, производительность труда возросла на 20%. Достигнуто дальнейшее снижение веса стоек до 50 кг. На каждый метр выработки получена экономия 6 руб.

Новая крепь хорошо себя зарекомендовала на шахтах трестов "Кадиевуголь", "Коммунарскуголь" и "Ворошиловградшахтопроходка". В течение 1964 г. этой крепью было закреплено 4900 м выработок.

Важнейшим преимуществом сталепластобетонных стоек является сравнительно небольшой их вес при сохранении прочности на уровне железобетонных стоек. Характеристики сталепластобетонных и железобетонных стоек приведены в табл. 6.

Прочность стоек может быть повышена за счет уплотнения пластобетона и введения в его состав высокопрочного крупного наполнителя (щебня, гравия) крупностью 5-6 мм.

Характеристика шахтных стоек

Материал	Тип стойки	Длина, Вес		Объем бето-на, л	Рас-ход ме-талла, кг	Марка бетона	Несущая способ-ность, т/м ²
		мм	кг				
Пластобетон	Облегченная шахтная стойка ОШС-I	2500	70	32	II	400-500	2,5
Железобетон	Пустотная прямоуголь-ная стойка БГ-I	2500	110	44	12,8	400	2,5
Железобетон	Центрифугиро-ванная круг-лая стойка диаметром 200мм	2500	120	45	15,1	250-300	1,6-1,8

Облегченной шахтной крепью из сталепластобетона (ОШС) кон-струкции института "ЦНИИПодземмаш" в тресте "Ворошиловградшахто-проходка" в 1962 г. закреплено 333 м на шахте "Суходольская" № I, в 1964г. на шахте "Малогвардейская" - 131,5 м, в 1965г. на шахтах "Самсоновская" № I и "Молодогвардейская" - 314,5 м и в 1966г. на шахтах "Молодогвардейская" и "Дуванная-Южная" - 209 м. Всего закреплено 988 м. Рамную крепь трапециевидного сечения устанавливали вразбежку через 1,0 м [7]. Этот опыт выявил основное преимущество нового вида крепи - простоту установки.

Дальнейшее совершенствование рамной сталепластобетонной крепи шло по пути снижения веса элементов крепи при сохранении несущей способности [9]. Это достигалось путем применения легких заполнителей, применения арматуры из стали повышенной прочности и совершенствования формы верхняка. В качестве легкого заполнителя был использован керамзитовый гравий.

При изготовлении опытных конструкций верхняков был приме-нен следующий состав (в весовых частях): керамзит дробленый фракции 0-8 мм - 45, песок кварцевый - 30, мономер ФА-2I и отвердитель (БСК) - 4. Песок и керамзит перед употреблением просушивали. Смесь готовили в бетономешалке. Прочность образ-цов этого состава 350-400 кг/см², объемный вес 1,4-1,44 т/м³. Этот материал был назван керамзитопластобетоном.

Лабораторными исследованиями было установлено, что наиболее интенсивно усадка идет в период от 28 до 65-75 суток после изготовления; предельная относительная деформация керамзитопластобетона при сжатии в 2,5-3 раза больше сжимаемости цементного керамзитобетона.

Установлено также, что в условиях кратковременного нагружения растяжимость неармированного керамзитопластобетона примерно в 3-4 раза выше, чем обычного бетона. Растяжимость керамзитопластобетона повышается при включении в него арматуры. Ко времени образования первых трещин напряжения в арматуре составляли 1180-1250 кг/см².

Испытания на изгиб проводились на натуральных образцах. Было установлено, что предельный изгибающий момент для керамзитопластобетонных верхняков составляет 3-3,14 тм вместо 2,5тм для сталепластобетонного.

Для изготовления пустотелых плит УкрНИИОМПС разработал особый состав (50% сумажных отходов, 20% стеклоткани и 30% фенолформальдегидной смолы). Бумагу и стеклоткань пропитывают смолой, высушивают при комнатной атмосфере и раскраивают по шаблону. Раскроенную бумагу и стеклоткань складывают в пакеты (2-3 слоя бумаги и I слой ткани), загружают в прессформу и в течение 3-4 минут прессуют при температуре 155-165° и давления 60-70 кг/см². Не снижая давления, прессформу охлаждают водой до 70° и выгружают готовое изделие.

Изготовленный таким образом материал имеет следующие характеристики, кг/см²: сопротивление на разрыв - 1800, на сжатие - 2200, на изгиб - 1800-1900; модуль упругости 22000-23000 кг/см²; материал обладает хорошей стойкостью против коррозии в шахтных водах. Объемный вес изготовленных из этого материала плит - 0,4-0,5. Вес такой плиты в 15-18 раз, а объем в 3,5 раза меньше равнопрочной железобетонной плиты.

Стоимость 1 м указанной крепи - 31 руб. (стоимость железобетонной плиты - 41,1 руб.).

Институтом "УкрНИИОМПС" [10] для изготовления шахтной крепи были предложены следующие составы пластобетонов, вес. %:

Состав № I

Мочевино-формальдегидная смола	13
Песок.....	56
Щебень.....	27
Метилсиликат натрия.....	2
Фосфорная кислота.....	2

Состав № 2

Фурфуролацетоновый мономер.....	13
Фурфурол.....	1
Песок.....	55
Бензосульфокислота.....	3

Состав № 3

Эпоксидная смола.....	12
Песок.....	56
Щебень.....	28
Ацетон.....	1
Полиэтиленполиамин.....	3

Состав № 4

Смола полиэфирная ПН-I.....	12
Песок.....	58
Щебень.....	28
Нафтенат кобальта	1,5

Физико-механические свойства этих пластобетонов приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Физико-механические свойства пластобетонов

Показатели	Состав № 1	Состав № 2	Состав № 3	Состав № 4
Объемный вес, г/см ³	21-22	20-21	19-20	18-26
Предел прочности, кг/см ² :				
при сжатии	390-550	450-680	700-900	400-700
при растяжении	50-60	65-75	130-150	70-80
при изгибе	90-110	125-155	150-200	60-120
Сцепление с арматурой	60-80	90-120	120-140	100-120
Водопоглощение, %	2,85	0,8	0,87	0,6
Водонепроницаемость, атм ^{x)}	10	10-18	20-25	15-20
Стойкость в кислой среде, %	2,41	1,08	0,46	0,5
Стойкость в щелочной среде, %	3,41	2,1	0,21	0,8

x) В графе указано, при каком гидростатическом давлении (атм) состав водонепроницаем.

Пластобетон используется для изготовления футеровочных колец внутренним диаметром 1,2 м к существующим коллекторам, а также для создания несущих цилиндрических коллекторов целиком из сталепластобетона.

При изысканиях крепи для выработок, находящихся в районе взрывных работ (например, выработок горизонта скреперования), были проведены испытания асфальтобетонов, представляющих битумную смесь с крупным заполнителем.

При испытаниях установлено [11], что с увеличением содержания битума до определенных пределов прочность образцов увеличивается. Отмечено также, что образцы, содержащие щебень при одинаковом соотношении битума и песка в битумно-песчаном растворе, обычно прочнее образцов без щебня. Наиболее прочным оказался состав, включающий 46% щебня и 54% битумно-песчаной смеси (60% песка и 40% битума). Расход битума на 1 м³ бетона - 200 кг [11].

В последнее десятилетие были проведены исследования различных составов пластобетонов для крепления стволов шахт [12]. Так, в качестве комбинированной крепи стволов калийных рудников ВНИИОМШС предложил пластобетон на основе фурфуролацетоновой смолы с песчаным наполнителем. Этот пластобетон имеет следующие свойства: объемный вес - 2-2,1 г/см³, пределы прочности при сжатии - 450-680, растяжении - 65-75 и изгибе - 125-155 кг/см²; удельная объемная усадка при отверждении через месяц 0,1-0,2%; удельная ударная вязкость 2,6-3,75 кг·кг/см²; модуль упругости - (3,2-3,8)10⁻⁵; сцепление со стальной арматурой - до 120, со старым цементным бетоном - 60-80 кг/см², водостойкость (коэффициент размягчения) - 0,93, водопоглощение - 0,28-0,48%, непроницаем при 50 атм. Изменение прочности этого пластобетона во времени представлено на рис. 3. Пластобетон имеет высокую стой-



Рис. 3. Изменение прочности пластобетона на основе мономера ФА:

- 1 - при сжатии; 2 - при изгибе;
- 3 - при растяжении

кость к замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высушиванию. При хранении в агрессивных средах в течение первых двух месяцев прочность пластобетона снижается на 10-20%, а затем стабилизируется. В этой же среде хорошо сохраняется адгезионная способность пластобетона.

Сотрудники института ВНИИОМШС изготовили модель кольцевой крепи для стволов диаметром 3,6 м, проходимых бурением. Крепь состоит из отдельных наращиваемых двухслойных колец (внутренний слой из бетона, наружный - из пластобетона). Оба слоя смещены по высоте, что упрощает и улучшает герметизацию колец слоем свежего пластобетона.

Первые такие эксперименты по использованию пластобетона на основе мономера ФА были проведены ДНИИподземшахтостроем в 1961 г. при креплении дренажного ствола Михайловского рудника КМА, где в пространство между тюбинговой крепью и замороженной породой укладывали пластобетон толщиной 200 мм [13]. Ствол проходили способом замораживания.

Пластобетон готовили на поверхности в растворешалке С-209. Приготовленный пластобетон имел температуру 18°C, через час в результате протекания экзотермической реакции полимеризации температура поднималась до 23-25°.

Тампонируемый участок был изолирован от вышележащих водоносных горизонтов водоулавливающим козырьком. После оттаивания пород было установлено, что на участке с гидроизолирующей из пластобетона вода в ствол не поступала.

Через специальные отверстия в тюбингах были выбурены керны пластобетона для испытаний. Прочность их на сжатие составила от 280 до 440 кг/см²; прочность цементно-песчаного раствора, примененного в качестве тампонажного средства, не превышала 100 кг/см².

В 1962 г. монолитным пластобетоном толщиной 500 мм был закреплен участок замороженных пород длиной 18,5 м ствола № 3 Солигорского калийного комбината. Для приготовления пластобетона использовали гранитный щебень крупностью до 25 мм и чистый строительный песок. Пластобетон готовили в бетономешалке типа С-355. К месту укладки доставляли его по трубам. Пластобетон укладывали за опалубку, поверхность которой смазывали соляровым маслом. При содержании щебня в смеси не более 35% расслоения пластобетона в трубах не наблюдалось. Такой пластобетон без дополнительного уплотнения равномерно укладывался за опалубку. Поверхность пластобетона гладкая и плотная, стенки в пластобетонной крепи плотные. Пластобетон сохранился в хорошем состоянии и в период оттаивания пород.

Эксперименты были продолжены в стволе № 2 (диаметр 7 м) второго Солигорского калийного комбината. Пластобетон укладывали в закрепное пространство с перерывами на время установки кольца чугунных тубингов.

Всего было уложено 577 м³ пластобетона, из них в затубинговое пространство в трех заходках между опорными венцами — 457 м³, а на устройство двух опорных венцов — 120 м³. Через 18 месяцев течи воды в стволе не было. Стоимость 1 м³ пластобетона — 140–150 руб.

В зимний период 1965–66 гг. на стволе № 1 Березниковского калийного комбината проведены работы по креплению пластобетоном ствола на глубину 116 м.

Проведенные работы показали, что на основе вязущего мономера ФА и минеральных заполнителей можно создать крепи и отделки подземных сооружений, обладающие высокой несущей способностью, водонепроницаемостью и стойкостью в агрессивных средах.

Химико-металлургическим институтом Сибирского отделения АН СССР совместно с Сибгипрогормашем и Ленинск-Кузнецким заводом полукоксования была создана новая пластическая масса из каменного угля, названная углепластом [14]. Материал обладает сравнительно высокой прочностью, небольшим удельным весом и хорошо поддается механической обработке.

Из углепласта холодного отверждения была разработана крепь, предназначенная для крепления углеспусков печей сечением до 2,5 м² при отработке пластов щитовой и комбинированной системами с гибким металлическим перекрытием.

Крепь имеет форму кольца диаметром 1,25 м, состоящего из 6 сегментов. Для обеспечения податливости между сегментами устанавливаются деревянные вставки.

В СССР для изготовления гидравлических стоек стали использовать стеклопластики [15]. Из них могут быть изготовлены элементы небольшого веса с большой удельной прочностью, устойчивостью к агрессивным средам и коррозии. Как показали первые опыты, вес гидравлических стоек из пластмасс меньше, чем вес металлических стоек, в 2 раза. Верхняки из стеклопластика весят в 2–6 раз меньше металлических верхняков. Затраты времени и средств на перестановку стеклопластиковых стоек меньше в 1,5–2 раза, чем на перестановку металлических стоек. Верхняки перестанавливаются быстрее в 3–4 раза по сравнению с металлическими стойками и деревянными верхняками. Срок службы таких верхняков в 100–120 раз больше, чем деревянных. Пластмассовые верхняки удобны в обращении, хорошо прилегают к неровной кров-

ле, повышают безопасность работ и увеличивают высоту очистного пространства, улучшая тем самым условия проветривания.

Лабораторией новых материалов Института горного дела им. А.А.Скочинского разработаны конструкции, изготовлены опытные партии, проведены лабораторные и промышленные испытания 6 типов гидравлических стоек с применением стеклопластиков. Один тип стойки показан на рис. 4.

Для изготовления стоек использовали стекловолокно диаметром 15-20 мк и прочностью при растяжении 1200-16000 кг/см², связующее - эпоксидные смолы ЭД-5 и ЭД-6 в количестве 20-24% от общего веса.

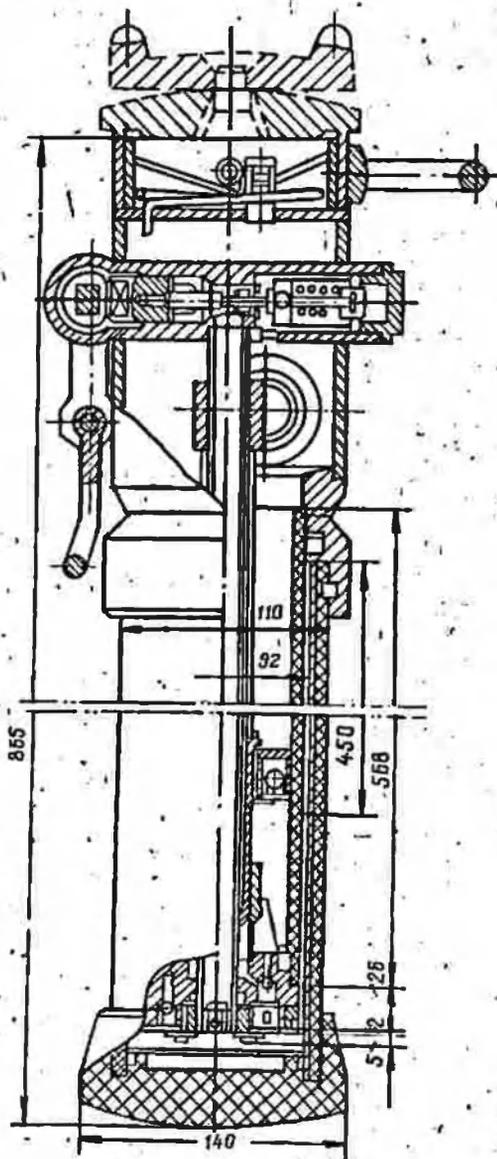


Рис. 4. Стеклопластиковая гидравлическая стойка ГСВ-4

Связующим может служить смесь эпоксидной (70%) и полиэфирной (30%) смол. Стеклопластик на этом комбинированном связующем имеет более высокую прочность, чем при применении смолы ПН-1. Наполнитель — стеклоткань из бесцельчатого стекла на парафиновом или полвинилацетатном замазливателе.

Для прессования пластин наиболее целесообразно применять материал типа АГ-4НС, связующим в котором является фенолформальдегидная смола Р-2, модифицированная клеем БФ-4. Из этого материала Северодонецким заводом стеклопластиков было изготовлено значительное количество пластин для верхняков шахтной крепи.

Лабораторные испытания показали, что гидростатическая прочность стеклопластиковых труб более чем в 3 раза выше рабочего давления в металлической стойке ГС-3. Хорошие результаты получены при испытании стоек на скорость нагружения, на износ.

Стойки ГСВ-4 в 1962 г. прошли производственные испытания в лаге № 24 шахты им. Менжинского (фрест "Первомайскуголь", комбинат "Луганскуголь") при креплении очистных забоев пологопадающих пластов мощностью 1,2-1,4 м [16].

За время испытаний было установлено, что эти стойки хорошо воспринимают нагрузку и осуществляют податливость при постоянном сопротивлении, предварительный разпор до 12 т осуществляется легко, разгрузка стойки для ее извлечения производится легко с расстояния 2-3 м, деформации пят и втулок не наблюдались. Такие стойки были испытаны также на шахтах № 31 и 38 комбината "Карагандауголь", где были получены аналогичные результаты.

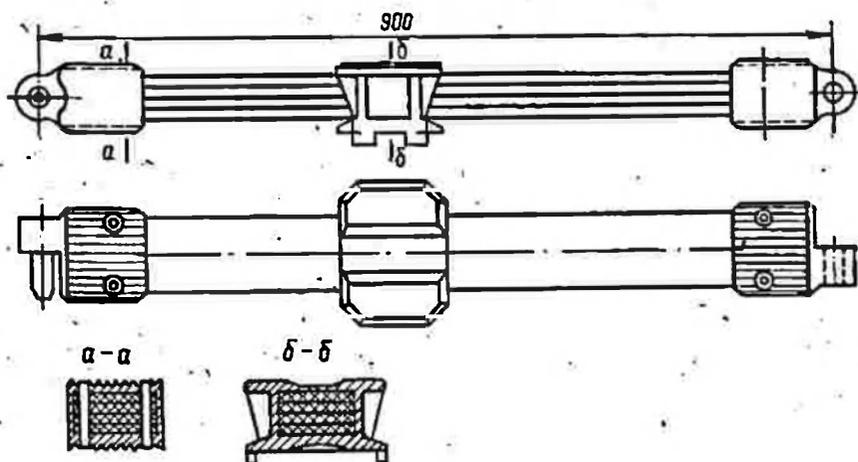


Рис. 5. Рессорный верхняк из стеклопластика

Стойки из стекловолоконных анизотропных материалов, изготовленные в СССР, были испытаны на Маясфельдском комбинате ГДР [17].

Испытаниями подтверждена работоспособность гидравлических стекловолоконных стоек.

Одновременно с созданием стоек из стеклопластиков были проведены работы по созданию из подобных материалов и верхняков [16]. Верхняки создавали как жесткие, так и рессорные. Последние оказались наиболее работоспособными: при нагружении их прогиб достигал 40-50 мм при достаточной грузоподъемности.

Эти верхняки (рис. 5) состоят из четырех стеклопластиковых пластин, двух кронштейнов и одной опоры, свободно передвигающейся вдоль верхняка.

Техническая характеристика верхняка

Длина (по осям кронштейнов), мм	900
Высота пакета пластин, мм	48
Ширина, мм	85
Вес, кг	9,2
Несущая способность при установке на шарнирные опоры (при расстоянии 0,5 м), т	6-8
Прогиб между опорами, мм	40-50

Промышленные испытания верхняков на шахте им. Менжинского показали их работоспособность в период установки, когда требуется повышенная гибкость для приспособления к неровностям кровли, и в период постоянного поддержания кровли. Верхняки имели 4-5-кратный запас прочности.

Верхняки из стеклопластиков были испытаны и на шахте № 23 треста "Ленинуголь". Опыт применения и здесь показал их работоспособность.

В 1963-1964 гг. Карагандинским научно-исследовательским институтом в содружестве с Научно-исследовательским институтом пластических масс были разработаны и изготовлены верхняки ВС-1 и ВС-2 из армированных пластмасс типа ЛОС-100 и верхняки ВБ-1 из пластмасс, армированных волокнами из диабазовых порфиритов. Верхняки ВС-1 были однопластинчатыми и имели толщину 15-20 мм, верхняки ВС-2 и ВБ-1 представляют собой одно-, двух- и трехслойные пластины (длина - 1,65 м, ширина - 65 и толщина - 15 мм, вес - 2 кг, допустимый прогиб для верхняка ВБ-1 - 60 мм) из армированных пластмасс с закрепленными на концах и в середине несущими опорами коробчатого сечения. Опоры выполнены из лис-

товой стали толщиной 3 мм с боковыми стенками толщиной 5-10 мм. Опоры предназначены для предохранения верхняка от смятия головками металлических стоек.

Промышленные испытания показали, что при применении стеклопластиковых стоек значительно повышается производительность труда. Стоимость стоек ГСВ-4А, ГСВ-7 и верхняков из стеклопластиков в опытном производстве примерно равна стоимости серийных стоек ГС-3 и верхняков М-45. Стеклопластиковые стойки могут находиться в эксплуатации в течение трех лет. При применении одной стеклопластиковой гидростойки в течение 3-х лет можно обеспечить экономический эффект в размере 180-235 руб.

В ы в о д ы

В последние 10 лет в горнорудной промышленности все более отчетливо проявляется тенденция к применению для поддержания горных выработок принципиально новых видов и конструкций крепи-набрызг-бетонной и штанговой.

Однако в ряде случаев применение набрызг-бетонной и штанговой крепи невозможно. Так, в породах слабых и весьма слабых, в состав которых входит значительное количество рыхлых включений (глины, хлориты, серициты и т.п.), применение набрызг-бетона, штанг и их комбинаций затруднено или вообще невозможно ввиду плохого сцепления набрызг-бетона с этими породами и невозможности обеспечить достаточно прочное раскрепление штанг. Затруднено применение набрызг-бетонной и штанговой крепи в обводненных породах, а также в слабых и очень слабых породах, когда крепь необходимо возводить вплотную к забов. Эти затруднения обусловлены тем, что качественно возвести эти крепи на обводненных поверхностях или породах с применением обычной технологии невозможно. Кроме того, эти крепи ко времени максимального развития горного давления не набирают достаточной прочности и, как правило, деформируются.

В указанных условиях более рациональными могут оказаться поддерживающие крепи, особенно если они будут облегчены (не в ущерб их грузонесущей способности) и будут снижены трудовые и денежные затраты на их возведение. Такие крепи можно возводить вплотную к забов без опасения, что они будут разрушены взрывом.

Можно создать поддерживающие крепи любой несущей способности. Однако повышение несущей способности известных материалов сопровождается усложнением и утяжелением конструкции, что сразу же сказывается на стоимости крепи и трудоемкости ее возведения. Техничко-экономические показатели поддерживающих крепей могут быть существенно улучшены при неизменной или даже повышенной

прочности (использование для изготовления пластобетонов и стеклопластиков), о чем свидетельствует опыт применения рамной крепи из пластобетона и стеклопластиковых стоек в угольной и железорудной промышленности.

Представляется целесообразным на первом этапе разработать конструкции рамной, арочной и кольцевой крепи на основе синтетических материалов для использования их в качестве временной (в отдельных случаях и постоянной) крепи горизонтальных выработок, проходимых в сложных горногеологических условиях. Объемы применения таких крепей будут значительными, поскольку проходку выработок в слабых и очень слабых породах ведут многие Гоедприятия (рудники комбинатов Текелийского, Садонского, "Балай-золото", "Сихали" и др.).

Известно, что хорошо выполненная забутовка значительно улучшает условия работы крепи. Однако применяемые для забутовки материалы и оборудование не обеспечивают тщательного заполнения всего закрепного пространства. Применение расширяющихся синтетических материалов с инертными наполнителями (типа пенопластов) может обеспечить тщательное заполнение закрепного пространства материалами, имеющими достаточно высокую прочность и обладающими одновременно способностью сжиматься. Такой забутовочный слой, сжимаясь под воздействием быстро развивающегося горного давления (и особенно первичного), будет компенсировать смещение пород и тем самым предохранять крепь от чрезмерного давления.

Значительный интерес для шахтостроителей представляет использование пластобетонов с коротким сроком твердения для крепления или забутовки закрепного пространства стволов шахт и особенно при проходке их способом с замораживанием водоносных пород.

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ КАК СРЕДСТВО ПОДДЕРЖАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Материалы для создания покрытий

Существенный недостаток набрызг-бетонных покрытий - низкая сопротивляемость динамическим нагрузкам. В выработках горизонта вторичного дробления при массовых взрывах набрызг-бетон деформируется. Повысить ударную прочность набрызг-бетона можно путем введения в него различных пластифицирующих и упрочняющих добавок.

Во ВНИИцветмете проводились исследования по подбору пластифицирующих и упрочняющих добавок к обычному набрызг-бетону.

Были проведены опыты по изысканию рациональных цементно-песчаных составов с включением в них в качестве пластификатора поливинилацетатной эмульсии, отличающейся хорошими связующими и клеящими свойствами, недефицитностью и небольшой стоимостью. При испытаниях установлено, что при соотношениях эмульсия: цемент до 0,2 образуются жесткие составы. Составы с соотношением эмульсия: цемент до 0,4-0,5 отличаются высокой пластичностью.

Лабораторными исследованиями было также установлено, что решающее значение при твердении имеет температура среды, в которой это твердение происходит. Влажность среды имеет подчиненное значение: повышение влажности (при высокой температуре) может лишь сдерживать скорость твердения, не оказывая влияние на конечную прочность материала.

Для упрочнения цементно-песчаного раствора были применены сечка капроновой щетины и стекловолокно [18]. Основным показателем при выборе этих материалов была величина ударной прочности.

Испытаниями установлено, что сечка капронового и стеклянного волокна, как правило, не улучшает свойства образцов при статических нагрузках. Ударная прочность образцов с включением в цементно-песчаный состав 5% капроновой сечки толщиной 0,3 мм (при длине 2,5-3 см) увеличивается для состава 1:3 в 2,5 раза и для состава 1:2 в 4,4 раза.

На зарубежных рудниках как изоляционное средство широко применяется полиуретановая пена - вязкое вещество, получаемое при смешении в сопле форсунки изоцианового эфира, смолы и воды [19]. Для нормального течения реакции и равномерного образования пены в смесь вводят катализатор (третичные амины органического металла) и стабилизатор (силиконовые смеси).

Пена образуется после набрызга смеси. Во время химической реакции образуются газовые пузырьки; увеличивающие объем смеси примерно в 30 раз. Пена твердеет в течение нескольких секунд. Затвердевшая пена имеет 85-95% закрытых пор. Она хорошо схватывается с любыми поверхностями, имеет малую теплопроводность, хорошо сопротивляется истиранию, проникновению воздуха и водяных паров и влагонепроницаема. Лучшее схватывание пены имеет с сухими поверхностями. Для лучшего сцепления пены с влажными стенками на них крепят металлическую сетку или наносят адсорбирующую пыль, цемент или любую размельченную в пыль породу.

Рядом фирм [20] получены пенопласты, имеющие низкий коэффициент водопоглощения, твердеющие при температуре $25 \pm 15^\circ\text{C}$, с прочностью при сжатии $140 - 840 \text{ кг/см}^2$, плотностью свыше $0,224 \text{ г/см}^3$. Эти составы способны образовывать массу толщиной до 15 см и эффективны при температурах от 0 до 60°C . Время полного твердения пены - 24 часа. Исходные материалы пенопласта отличаются малой вязкостью и небольшим выделением ядовитых паров при напылении [20].

Типичный состав для получения полиуретановой пены: основание - (полиэфир) - 100 частей, отвердитель (изоцианид МДЖ) - 168, растворитель (трихлорэтилфосфат) - 18,5.

Изоцианид вреден. Поэтому при нанесении полиуретана нужно пользоваться очками, резиновыми перчатками, защитными средствами для дыхания. Безопасная зона находится примерно в 200 м от места нанесения пены.

Затвердевшая пена может гореть только в пламени. Для предотвращения этого целесообразно применять асбесто-цементное покрытие. Под действием огня в пене образуются трещины. Местные повреждения пламенем далее не распространяются. Полиуретан можно готовить самогасящимися. Наполнители уменьшают обугливание пенопласта.

Вода, попадающая на поверхность пенопласта, может растворять некоторые остаточные катализаторы или разлагать полиуретан. Этот недостаток может быть преодолен включением в пенообразующие смеси гидрофобных добавок, а также соответствующим подбором состава, обеспечивающего получение пенопласта с максимальным количеством закрытых пор (например, добавка песка снижает водопоглощение с 3 до 0,3%).

Для создания полиуретановых покрытий в США применяют оборудование "Режисил" [69], состоящее из двух больших резервуаров с системами дозирования и смешивания и пушки с 15-метровым шлангом. В установке смешиваются два вещества; диизоционат и полиэфирполиоловая смола. Их нагнетание на расстояние до 45 м производится под давлением примерно 2 атм двумя пневматическими насосами. Насосы одновременно производят и дозирование.

Распыление производится пистолетом со скоростью примерно $1,4 \text{ кг/мин}$., что обеспечивает создание полиуретанового покрытия на площади $1,8 - 3,6 \text{ м}^2/\text{мин}$. За 8-часовую смену двое рабочих закрепляют горную выработку площадью 465 м^2 .

В Англии для создания полиуретановых покрытий применяется пенообразующая установка, изготавливаемая фирмой "Викинг Инжиниринг" [41]. Она распыляет от 1,1 до $3,6 \text{ кг}$ реактивов в минуту.

В Австралии для нанесения уретановой пены имеется передвижная установка MSA; вес ее (без химических веществ) — 102 кг, емкость баков 136 кг. Выпускают установки в комплекте с электродвигателем и компрессором. Производительность пистолета 1,6 м²/мин поверхности при толщине слоя пены 25 мм. Одной зарядки распылителя достаточно для создания покрытия на площади 140–185 м².

Полиуретановые покрытия применяются на рудниках для изоляции горных пород от вредного воздействия рудничной атмосферы, и, в частности, для покрытия ее целиков с целью сохранения их несущей способности.

Заслуживает внимания и возможность использования пены для создания верхней части искусственных целиков. Пена обеспечивает полный и тщательный контакт между возводимым целиком и поддерживаемой им потолочной камерой.

Использование изоляционных покрытий с синтетическими материалами для поддержания горных выработок

На основании результатов лабораторных исследований, проведенных институтом ВНИИцветмет были осуществлены промышленные испытания набрызг-бетона, упрочненного капроновой щетиной [7]. В состав сухой цементно-песчаной смеси вводили сетку капроновой щетины (длиной 3–4 см) в количестве 3–4% от веса цемента.

Первые опыты по применению упрочненного капронового щетиной набрызг-бетона были проведены в скреперном штреке Лениногорского рудника. Породы штрека по устойчивости относятся к ниже-средним (за 6–7 дней отслоение пород в кровле составило 15–20 см и более).

Паспортом крепления предусматривали применение комбинированной крепи их трех железобетонных штанг длиной 1,8 м на I м выработки и слоя набрызг-бетона толщиной до 5 см. Напротив ниш сетку расположения штанг сгущали до 0,5x0,6 м. Для поддержания козырьков над нишами предусматривали канатные штанги с заделкой концов каната в соседние шпурь. Для сравнения соседние участки выработки крепили обычным набрызг-бетоном.

Над штреком, закрепленным опытной крепью, и вблизи него были произведены 4 взрыва зарядов ВВ весом 660 – 2413 кг с интервалами в 7–20 дней.

После первых двух взрывов как в обычном, так и армированном набрызг-бетоне появились трещины шириной до 0,5 мм и длиной до 0,8 м. В местах, где толщина обычного набрызг-бетона была незначительной, наблюдались отслоения размером от

0,1x0,1 до 0,3x0,4 м. Последующие взрывы практически никаких изменений в крепи не вызывали.

Дробление негабаритов и ликвидация завесаний в дучках с помощью взрывов произвели дополнительную деформацию участков, закрепленных обычным набрызг-бетоном. На участке же, закрепленном упрочненным набрызг-бетоном, никаких дополнительных изменений в состоянии крепи до окончания выпуска не произошло. Испытание упрочненного капроновой щетиной набрызг-бетона было проведено также в скреперном штреке рудника им.ХХП съезда КПСС Зыряновского комбината.

Крепление этой выработки производили согласно паспорту (рис.6).

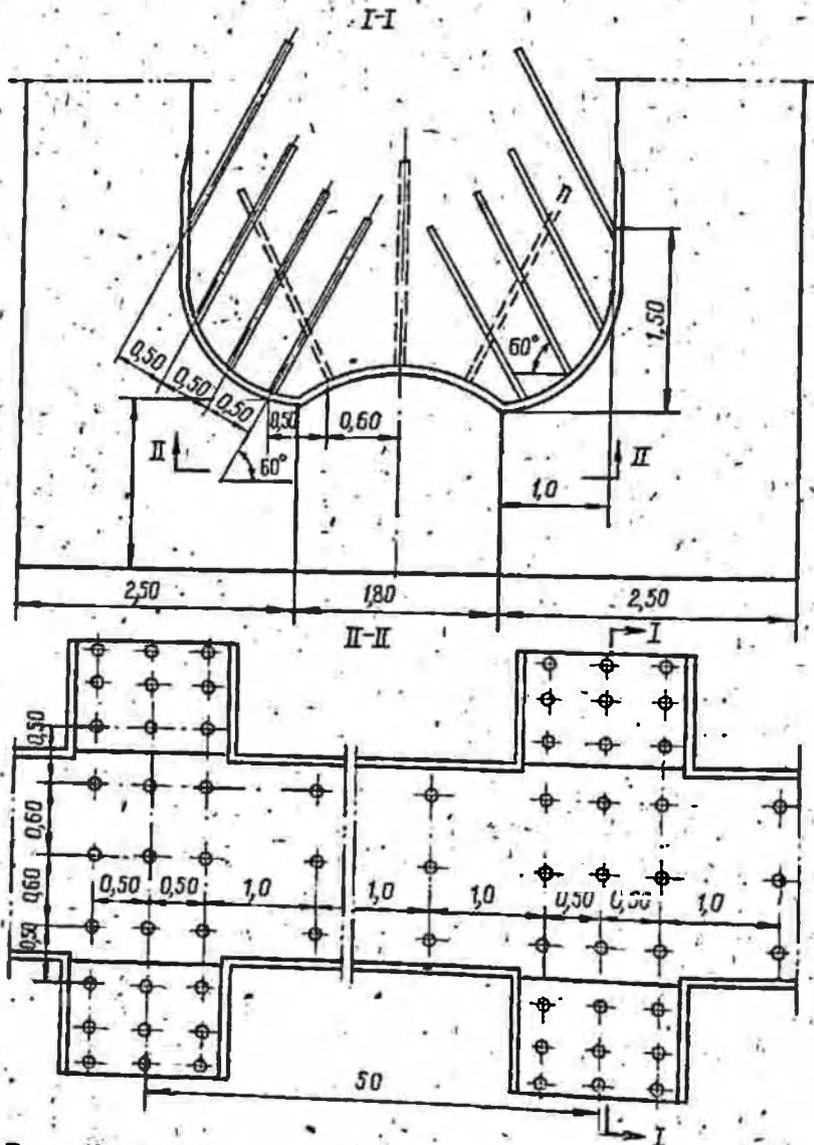


Рис. 6. Паспорт крепления скреперной выработки комбинированной крепью с упрочненным (при помощи набрызг-бетона) капроновым еслоксис

Штанги длиной 1,6 м из стали периодического профиля диаметром 16 мм устанавливали рядами на расстоянии 1 м (по три штанги в ряду). Для более надежного поддержания "козырьков" над нишами предполагали значительно сгустить сетку расположения штанг. Толщина слоя набрызг-бетона должна быть не менее 3 см.

Паспорт крепления полностью соблюсти не удалось. К тому же ограниченные размеры поперечного сечения выработки создали осложнения и при нанесении слоя набрызг-бетона, из-за чего набрызг-бетон имел значительно меньшее содержание капроновой щетины, чем это было предусмотрено паспортом. Во многих местах выработки толщина слоя набрызг-бетона составила всего лишь 1-2 см. Общий вид участка выработки, закрепленного новыми материалами, представлен на рис. 7.

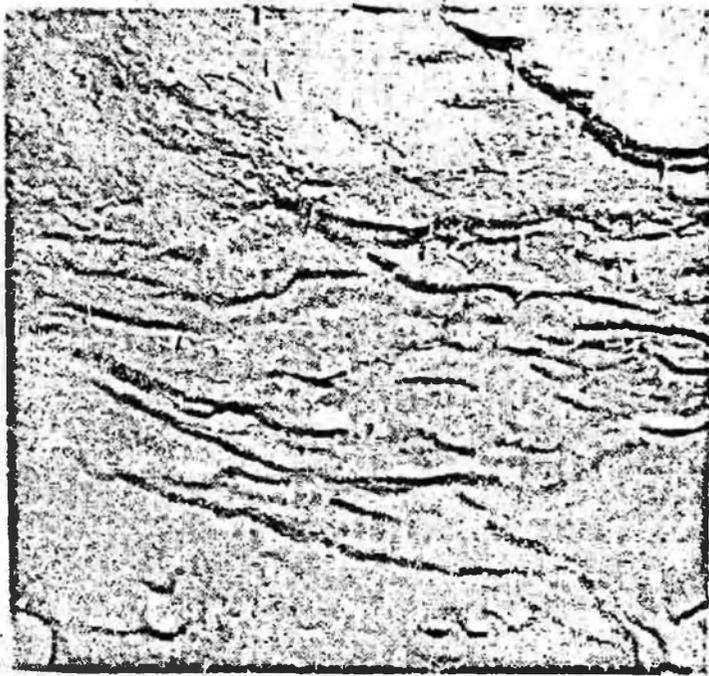


Рис. 7. Участок выработки, закрепленный комбинированной крепью штанги - упрочненный набрызг-бетон

628 Первый взрыв зарядов весом 500 кг в 6 скважинах (для образования отрезной щели) никаких деформаций в крепи не произвел. Затем были взорваны все скважины как верхних, так и ниж-

них вееров. Общий вес зарядов в них составил 10500 кг. При осмотре установлено, что крепь на участках штрека между нишами находится в хорошем состоянии. Производственные испытания комбинированной крепи с использованием упрочненного капроновой щетиной набрызг-бетона дали положительные результаты. На основании этих результатов можно рекомендовать упрочненный капроновой щетиной набрызг-бетон для применения в выработках горизонта скреперования.

В США изоляцию пород производили (рудник "Бьют", Монтана) твердой уретановой пеной [71]. Ее была покрыта часть целика из твердого угля. Через год влага и воздух разрушили непокрытую площадь. Изолированная часть целика сохранилась неизменной. Эта же пена была применена для изоляции уже расслоившейся кровли. Покрытие кровли пеной прекратило расслоение пород.

Висячий бок в одной выработке, пройденной по сланцу, быстро выветривался и разрушался. После покрытия полиуретаном породы держались устойчиво.

Уретановое покрытие, как средство, предотвращающее расслаивание пород в главных откаточных выработках, широко применено на ирландском руднике "Хана Коол Компани". Только в одной выработке было израсходовано более 15 т этих материалов. При этом была обеспечена полная изоляция выработок и получен экономический эффект.

В ы в о д ы

Из большого разнообразия горногеологических и горнотехнических условий, встречающихся на рудниках цветной металлургии, наибольшую сложность с точки зрения поддержания представляют выработки горизонта вторичного дробления (горизонта скреперования). Сложность их поддержания обусловлена большой частотой различных по сечению и направлению выработок, ограниченных небольшими целиками, постоянным воздействием на них массовых взрывов скважин и взрывов по разделке негабаритов и ликвидации завесаний руды в дучках, давлением больших масс движущейся руды и др.

Поиски надежных конструкций крепи для этих условий пока не дали желательных результатов. Любые виды крепи под воздействием указанных выше факторов деформируются, и часто разрушаются не только крепь, но и выработки.

Проведенные исследования и испытания комбинированной крепи в выработках горизонта скреперования показали ее существенные преимущества перед всеми видами поддерживающих крепей. Однако обычный набрызг-бетон при ведении взрывных работ, как правило, деформируется.

Повысить прочность набрызг-бетона к динамическим и сейсмическим нагрузкам можно путем введения в его состав пластифицирующих (латексы, поливинилацетатная эмульсия) или упрочняющих добавок.

Первые опыты, проведенные в этом направлении на рудниках Лениногорского и Зыряновского комбинатов, дали обнадеживающие результаты: введение в состав набрызг-бетона упрочняющих добавок в виде капроновой щетины заметно повысило его ударную прочность и позволило эксплуатировать закрепленные этим материалом выработки без ремонта.

Дальнейшее улучшение состава упрочненного набрызг-бетона, разработка более совершенной технологии создания покрытий из этого материала позволит решить наиболее сложную задачу — обеспечить надежное поддержание выработок горизонта скреперования на всех предприятиях, разрабатывающих месторождения системами с массовой отбойкой руды (Лениногорский, Зыряновский, Текелыйский комбинаты и другие предприятия).

ПРИМЕНЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМОЛ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ШТАНГ В ШПУРАХ

Синтетические смолы, нашедшие за рубежом широкое применение в качестве средства закрепления в шпурах арматурных стержней, увеличили работоспособность штанг. Закрепляющие составы на основе синтетических смол обладают высокой (сравнительно с цементно-песчаными растворами) прочностью, прежде всего при работе на изгиб, растяжение. Работоспособность таких штанг снижается из-за ослабления замка или разрушения пород у подхвата. Их можно устанавливать как с натяжением, так и без него.

Эти качества способствовали быстрому и широкому распространению нового способа закрепления арматуры штанг в ряде зарубежных стран.

Из большого числа материалов, рекомендованных для использования в качестве средства закрепления арматуры штанг, наиболее известным и распространенным за рубежом является смола "Рок-Лок" [21].

Материал "Рок-Лок", выпускаемый фирмой "Сайламид Интернешнл Рок-Лок Майнинг Китс", представляет собой полиэфирную смолу, измененную так, что ее можно применять во влажных и низкотемпературных условиях. Она нетоксична и застывает в твердую массу, отличающуюся высокой прочностью. Смола представляет пасту, к которой добавляют отвердитель. Эта паста хорошо держится в скважинах любого направления. Процесс затвердевания

длится от 1 до 24 час. в зависимости от температуры окружающей среды.

Для закрепления замков штанг в шпуре применяется пластмассовый баллончик марки "Рок-Лок 20", состоящий из двух отделений. В баллончике находится 340 см^3 связующего агента. Он вставляется в шпур и вводится вращением арматурного стержня. При разрыве баллончика происходит смешивание находящихся в нем компонентов. Образующаяся паста равномерно распределяется вокруг штанги.

Для сплошного покрытия стержня в шпуре применяется канистра марки "Рок-Лок 60", общим объемом около 1000 см^3 , где два вещества перемешиваются в большом контейнере, образуя пасту. Смесь заполняет переносную трубку, из которой эту пасту выдавливают в шпур. Через пасту легко проталкивается любая штанга. Этого количества достаточно для сплошного покрытия арматурного стержня длиной 1,8 м и диаметром $7/8"$ в шпуре диаметром $1\frac{1}{4}"$. Общее время работы установки 8-10 мин [22].

Канистра марки "Рок-Лок 540" предназначена для закрепления нескольких штанг. Этот комплект состоит из специального контейнера (для транспортировки и смешивания компонентов) и трех пластмассовых мешочков. Самый большой из них, содержит пасту "Рок-Лок", в среднем находится отвердитель, а в малом - активизатор (ускоритель). Объем готовой пасты - 8850 см^3 . Вместе с канистрой поставляется дюймовая полиэфиропиленовая передаточная трубка с поршнем для подачи пасты в шпур. Готовая смесь засасывается из контейнера в трубку в количестве, необходимом для закрепления штанги.

Использование состава "Рок-Лок 540" производится следующим образом. Срезают угол донной части большого пластмассового мешка, пасту "Рок-Лок" выдавливают в металлический контейнер. К ней добавляют отвердитель. Пасту и отвердитель перемешивают до однородного цвета. Соотношение объема смолы и отвердителя 4:1 (по весу). При применении пасты при низкой температуре в нее перед смешиванием с отвердителем добавляют активатор.

При введении арматурного стержня в шпур его нужно слегка изогнуть посередине, чтобы он расклинился и не выпадал из вертикального шпура и не лежал плоско на нижней стенке горизонтального шпура. Пока паста находится в гелеобразной стадии, штангу не сдвигают (иначе закрепление будет плохим). После полного твердения пасты на штангу одевают шайбу и затягивают гайку.

Для штанг, закрепляемых смолой "Рок-Лок", рекомендуется применять обычную арматурную сталь. Применять гладкие стальные

стержни не рекомендуется. При использовании смолы "Рок-Лок" возможны следующие способы установки штанг:

- штанга раскрепляется в шпуре замком и смолой по всей длине стержня. Такой способ крепления применяется, когда использование распорных гильз невозможно;

- штанга с нарезкой с обеих сторон и с распорной гильзой закреплена смолой на всей длине с постоянным напряжением. Такой вид крепи применяется там, где требуется немедленное крепление кровли по условиям безопасности, или там, где требуется установка предварительно напряженных штанг;

- штанга с нарезкой с одной стороны и с опорной плитой. Крепится на всю длину. Такой тип применяется для крепления восстающих и стволов. Проволочная сетка навешивается после затвердения смолы;

- штанга укрепляется смолой по всей ее длине. Этот вид крепи наиболее целесообразен для крепления рудоспусков и скатов, где непрерывно падающая порода ослабляет все другие типы штанги. В этих случаях штангу можно заменить стальным тросом.

В граните полностью отвердевшая смола обеспечивает сцепление болта диаметром $7/8"$ в шпуре $1\frac{1}{4}"$ с силой 15 т на 30 см закрепленной части. В бетоне для таких же болтов и шпуров прочность закрепления превышает 11 т на 30 см длины.

При испытании на выдергивание установлено, что закрепленная смолой штанга обладает способностью после продергивания вновь закрепляться.

Полностью отвердевшая смола имеет прочность при разрыве около 600 и при изгибе 860 кг/см^2 . Смола "Рок-Лок" не токсична. Она может применяться при низкой температуре и высокой влажности. За 20 мин двое малоопытных рабочих могут установить 9 штанг длиной 1,8 м. Стоимость смолы большая. На одну скважину длиной 1,8 м с арматурным стержнем диаметром $7/8"$ расходуется такое количество смолы, которое стоит 2,5-4,5 долл.

Смола "Рок-Лок" как средство закрепления арматуры штанг нашла широкое применение на ряде рудников США и Канады.

На одном из рудников компании "ИНКО" [23] в стенах рудоспуска было установлено на смоле "Рок-Лок" 75 напряженных и ненапряженных штанг, длиной 1,8 м и диаметром $7/8"$ в шпурах диаметром $1\frac{1}{4}"$. Примерно половину штанг установили на смоле, размещенной в патронах, а остальные штанги закрепили смолой с помощью шприца. Арматурные стержни натягивали ручным перфоратором с усилением 25 кгм сразу же после их установки. За 3 месяца

через рудоспуск было пропущено 25 тыс т руды. Износ его был незначительный. Благодаря применению этого вида крепи полу-

цена экономия (по сравнению со стальной футеровкой) в размере 2900 дол, несмотря на высокую цену смолы.

При эксплуатации рудоспуска выявлено, что как напряженные, так и ненапряженные штанги, закрепленные смолой "Рок-Лок", работают одинаково.

На этом же руднике такими штангами был закреплен участок закладочного восстающего сечением $1,8 \times 1,8$ м. Если в аналогичных условиях деревянная венцовая крепь обычно быстро разрушалась, то штанговая крепь, закрепленная смолой в течение 2-х лет, была в хорошем состоянии.

Особенно хорошие результаты на этом же руднике получены при применении штанг, закрепленных смолой "Рок-Лок", в скреперных выработках.

В скреперных выработках и 32 дучках вместо ранее применявшейся бетонной крепи были установлены штанги диаметром $7/8$ " (общая длина более 4200 м). 10 сильно разрушенных дучек крепили бетоном и штангами, закрепленными смолой. Выступающие из шпура концы штанг обмазывали смолой "Рок-Лок" и асбестовым волокном, после чего возводили бетонную крепь. После длительной эксплуатации этих дучек состояние их было хорошим.

На другом никелевом руднике компанией ИНКО штанги на смоле применяли с целью определить, смогут ли они предотвратить развитие давления после отработки руды над штреком. Очистные работы над штреком были возобновлены сразу же после установки штанг. Через 4 месяца в выработке не было обнаружено сдвижение пород, в то время как при применении других видов крепи такие подвешки не прекращались.

На одном из рудников в провинции Квебек (Канада) штанги на смоле "Рок-Лок" решено было использовать с целью снижения разбухания за счет отслоения пород всяческого бока.

Компания "ИНКО" штанги, закрепляемые смолой "Рок-Лок", применяет с 1962 г. В 1964-65 гг. ежегодно устанавливалось 50-70 тыс. таких штанг. Промышленный слит применения показал их высокую надежность. Попытки выдернуть закрепленную этой смолой штангу обычно заканчивались тем, что штанга ломалась. Если же удавалось штангу продернуть, то после снятия нагрузки она вновь надежно закреплялась [24].

Опыты, проведенные горным бюро США на руднике "Хоумстейк", показали, что одновременная пропитка пород полиэфирной смолой и укрепление ее штангами снижает разрушение стенок выработок под воздействием горного давления [5]. Укрепленные такой смолой породы в течение двух лет не требовали крепления. Там

же, где были только установлены штанги, породы обрушались. Смо-
лу вводили в шпур под давлением 8 атм.

Фирма "Сайнаминг Кенедэ" выпустила новый вид штанговой
крепи марки "Сайболт" [25]. Она представляет собой пластмас-
совый стержень, который закрепляется смолой "Рок-Лок".

"Сайболт" заменяет стальные штанги в зонах, где вибрация
от работы дробилок, компрессоров или взрывная волна вызывает
сдвигение пород. Такие штанги обладают большой прочностью и
способностью поглощать энергию колебательных волн. Фирма вы-
пускает специальные пасты марки "Рок-Лок Коул Пэкедж" для за-
крепления штанги в скважине в условиях слабых, нарушенных по-
род.

Паста к потребителю поступает в патронах из фольги с пласт-
массовым пережимом, разделяющим два компонента - разбавитель и
отвердитель. Перед закладкой патрона в скважину с него снимают
зажим, и компоненты перемешиваются. Закрепление стержня пастой
происходит при разрыве пакета при установке штанги в шпур.

Фирма "Бетлехем Стил"(США) закрепление металлических стерж-
ней в шпурах производит синтетической смолой с калиброванным
породным наполнителем [26]. Внутри стеклянного патрона, за-
полненного наполнителем, соосно установлена стеклянная ампула
с жидким раствором смолы. Перемешивание смолы с наполнителем
производится вращением штанги в шпуре в течение 5-15 сек. При
температуре окружающей среды 10°C затвердевание смеси длится
2 ч., при 15°C - 1 ч., при 21°C - 0,5 ч. Несущая способность
таких штанг 13,6 т вместо 4,5 т у обычных.

Способ закрепления штанг синтетическими смолами нашел
также применение и во Франции [27]. Так, в одном из патентов
предложено закрепляющую мастику "Селфикс", состоящую из смеси
фталоэфир-а и стирола (28%) с инертным материалом из тонкого пес-
ка (69%), размещать в полиэтиленовом патроне (длина 40 см, диа-
метр 25 мм). Внутри этого патрона размещается другая оболочка
длиной 40 см и диаметром 12 мм, заполненная затвердителем (ме-
тилэтилкетон) с тонким песком (3%). Вес патрона - 350 г. Этот па-
трон вводят в шпур, затем вставляют полиэтиленовый уплотнитель,
препятствующий вытеканию смолы и выпадению патрона, и вводят за-
остренную штангу с пружиной для закрепления в шпуре. Через час
прочность закрепления штанги составляет 14 т.

Предложена и другая конструкция патрона: патрон перего-
родной разделен на две неравные части, в большей части разме-
щается смола с инертным наполнителем, в меньшей - затвердитель
с мелким песком.

В Австрии предложено закреплять арматуру штанг полиэфир-

ными или эпоксидными смолами с протяннутыми стекловолокнами или сетчатыми трубами. Такой способ повышает сцепление металлического стержня с породой [28].

В ФРГ для закрепления штанг предложено применять эпоксидные, феноловые или полиуретановые смолы, которые твердеют с помощью пероксидов (перекись циклогексанона, метилэтиленкетон и др. - 8-10%); ускорители - диметиланелит или кобальтнафтенат; наполнители - кварцевый песок крупностью 1-3 мм или стеклянное волокно (вместе или порознь). Смола с наполнителем и отвердитель вводятся в шпур порознь и перемешиваются вращением штанги. С использованием этих материалов предложен ряд составов [29].

С о с т а в 1

Стекланный патрон длиной 300 мм и диаметром 28 мм заполняется пастой, состоящей из полиэфирной смолы, кварцевого песка и диметиланилина. Отвердитель (перекись бензоила) помещается в капсуле длиной 280 мм и диаметром 9 мм. Капсуль размещается внутри патрона с мастикой. Патрон вводится в шпур штангой. Этой же штангой патрон и капсуль разбиваются. Вращением штанги в течение 30 сек паста и отвердитель перемешиваются. Через 30 мин твердения прочность закрепления составляет 1,25 т/см закрепленной длины штанги.

С о с т а в 2

В стекланный патрон (длина 300 мм и диаметр 28 мм) помещают пасту, состоящую из 40% эпоксидной смолы "Аралдит" и 60% кварцевой муки. В капсуле находится отвердитель - аминосмола. Патрон нагревают до температуры 160°C и вводят штангой в шпур. Прочность закрепления составляет 1,7 т/см закрепляемой длины штанги.

С о с т а в 3

Бакелитовый патрон с толщиной стенок 1 мм наполняет составом, состоящим из предварительно конденсированной, густотекущей феноловой смолы (40%) и кварцевого песка (60%). Отвердитель (полисульфиновая кислота) размещается в капсуле. Патрон подогревается до 200°. Прочность закрепления составляет 1,1 т/см закрепляемой длины штанги.

С о с т а в 4

Стекланный патрон длиной 500 мм и диаметром 28 мм наполняют составом из полиэфирной смолы (30%) и шлаковой муки (70%) в смеси с углекислой солью. Внутри патрона помещают два стеклянных цилиндра диаметром 8 мм. Первый цилиндр наполняют перо-

кисью бензоила, а второй — полиэфирной смолой с диметиланилином. Патрон штангой вводят в шпур и разбивают его. Штангу вращают со скоростью 300 об./мин в течение 1 мин. Через 40 мин твердения прочность закрепления составляет 1,4 т/см закрепляемой длины штанги.

С о с т а в 5

В стеклянный патрон длиной 260 мм и диаметром 22,5 мм помещают полиизоцианид (46%) и инертный наполнитель (54%). В этот патрон помещают меньший патрон (длина 240 мм, диаметр 16 мм), заполненный полигидроксильным соединением (44%) и наполнителем (56%). Патрон вводят в шпур диаметром 28 мм и разбивают. Вращением штанги компоненты перемешиваются. Через 6 час твердения прочность закрепления составляет 1,63 т/см закрепляемой длины штанги.

Наиболее целесообразные составы для закрепления штанг на основе полиэфирной и эпоксидной смол приведены в табл. 8.

Фирмой "Юниверсал анкеридж компани лимитед" [30] для крепления слабых и очень слабых пород разработан новый вид штанги. Сущность этого способа состоит в том, что в скважинах длиной до 7,5 м диаметром 112 мм с помощью расширяющихся коронок выбуривают конусообразные полости (до 4 штук по длине). В качестве штанг в таких случаях используют тросы, концы которых разделяют в виде щетки. Затем в образованные полости нагнетают цементный или смоляной раствор. Штангу предварительно покрывают изолирующим материалом из пластика, чтобы впоследствии произвести равномерное ее натяжение. При испытаниях такого типа крепи в мягком красном песчанике после закрепления тросов смолой они выдерживали нагрузку до 400 т.

Для лучшего перемешивания компонентов предложены специальные патроны для смолы с отвердителем и специальные головки штанг. Предлагается в закрытую с одной стороны трубчатую хрупкую оболочку (например, из волокнистого материала) поместить отверждающий состав (3,5 г водного раствора перекиси бензоила и 6,5 г микродола — норвежского талька) так, чтобы он равномерно расположился по всей длине трубки (достигается это обычным встряхиванием). В горизонтально расположенную трубку в пространство выше отвердителя инжируют посредством сопла 340 г смоляной смеси, состоящей из полиэфирной смолы (26% по весу), микродола (73,7%) и диметиланилина (ускоритель) — 0,3%. После этого трубку закрывают металлическим зажимом.

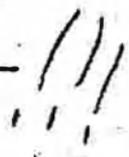
В таком патроне на контакте смолы и отвердителя образуется

Составы смесей для закрепления арматуры штанг

Темпе- ратура исполь- зуемого состава, °С	Смола	Заполни- тель	Отверди- тель, % от веса смолы	Ускори- тель (диметил- анилин), % от веса смолы	Дли- тель- ность твер- дения, мин	Сцепле- н, т/см
20	ПЭ (40%)	Кварцевая мука (60%)	ПБ (8%)	I	30	I,05
20	ПЭ (30%)	Кварцевый песок круп- ностью I-2 мм (70%)	То же	I	30	I,25
20	ПЭ (30%)	То же	—	I	180	I,40
20	ПЭ (35%)	Кварцевый песок круп- ностью I-2 мм (65%)	—	2	30	I,30
20	ПЭ (30%)	Кварцевый песок круп- ностью I-2мм (70%)	—	I	30	I,20
20	ЭП (40%)	Кварцевая мука (60%)	АС(20%)	I	1200	I,50
20	—	Кварцевый песок круп- ностью I-2 мм (60%)	То же	I	1200	I,60
120	ЭП (40%)	То же	—	I	60	I,60
160	ЭП (40%)	То же	—	I	15	I,70

Условные обозначения: ПБ — перекись бензойная; АС — амино-
вая смола; ПЭ — полиэфирная смола; ЭП — эпоксидная смола.

тонкий слой отвердевшей смолы, который предохраняет остальную
смолу от полимеризации.



Хорошие результаты получены и при использовании патронов, в которые смесь отвердителя и смоляную смесь одновременно инжектировали в трубку посредством питателя, имеющего 2 сопла. Большое сопло подавало 330 г смеси смолы, а меньшее - 20 г смеси отвердителя.

Для закрепления штанг синтетическими смолами в очень слабых породах в Австрии запатентован следующий способ [31]. Бурение шпура производят полый буровой штангой с кольцевой коронкой на конце. Штангу не извлекают из шпура, в нее вводят металлический стержень или пучок проволоки. Крепежную штангу предварительно подготавливают: ее поверхность обезжиривают и обрабатывают песком, после чего покрывают слоем синтетической смолы толщиной 0,15 мм; в последнюю очередь на часть штанги, которая будет выполнять функции замка (0,3-0,5 м), наносится второй такой же слой смолы. Смола быстро твердеет. Возможен и иной вариант подготовки крепежной штанги: после нанесения первого слоя смолы замковая часть крепежной штанги вальцуется в кварцевом песке крупностью около 1 мм. Песчинки почти на треть вдавливаются в смолу. Кварцевый песок увеличивает силу трения между головкой штанги и затвердевшим закрепляющим материалом.

Закрепление крепежной штанги производится следующим способом. Буровая штанга незначительно оттягивается назад. В зазор между ней и крепежной штангой подается закрепляющий состав. По мере вытягивания буровой штанги шпур заполняется смолой. Буровая штанга, выполнив роль крепи, полностью извлекается.

В ФРГ запатентован способ закрепления штанг синтетическими смолами, отверждение которых происходит при температурах не ниже 60°C [32]. В шпур глубиной 1,8 м и диаметром 30 мм вводится бумажный патрон диаметром 24 мм и длиной 750 мм, который содержит смесь затвердевающей в тепле полиэфирной смолы с наполнителем и отвердителем (50%-ная бензоилпироксидная паста в количестве 7% веса смолы).

Смешивание производится при вращении ребристой штанги диаметром 26 мм и длиной 1,9 м со скоростью 300 - 1000 об/мин и при давлении 800 кг. Патрон при этом разрушается. За счет трения температура повышается до 200°C. Содержимое патрона, разместившееся при вращении штанги в кольцевом пространстве, быстро твердеет. Через 15 сек число оборотов штанги заметно снижается, что свидетельствует о достаточном твердении смолы.

В США выдан патент на способ закрепления штанг синтетическими смолами, нагнетаемыми в шпур [33]. Такая штанга изготавливается из стали периодического профиля, диаметр и длина

628

которой соответствует диаметру и длине шпура (рис.8). На одном конце штанги I имеется резьба, на который навинчивается небольшой кусок трубы 2. На этой трубе имеются отверстия 3 для выхода смолы, обычно перекрытые тонкой резиновой трубкой 4, выполняющей роль дешевого одностороннего клапана. Шпур у своего устья перекрывается гибким резиновым затвором 5 из пластмассы, который удерживается на трубке штанги между подвижной 6 и неподвижной 7 шайбами. Подвижная шайба перемещается посредством гайки 8 на наружном конце трубы. При натяжении гайки затвор 5 расширяется в шпуре, плотно перекрывая его. Через этот затвор проходит трубка 9, к внутреннему концу которой крепится гибкая

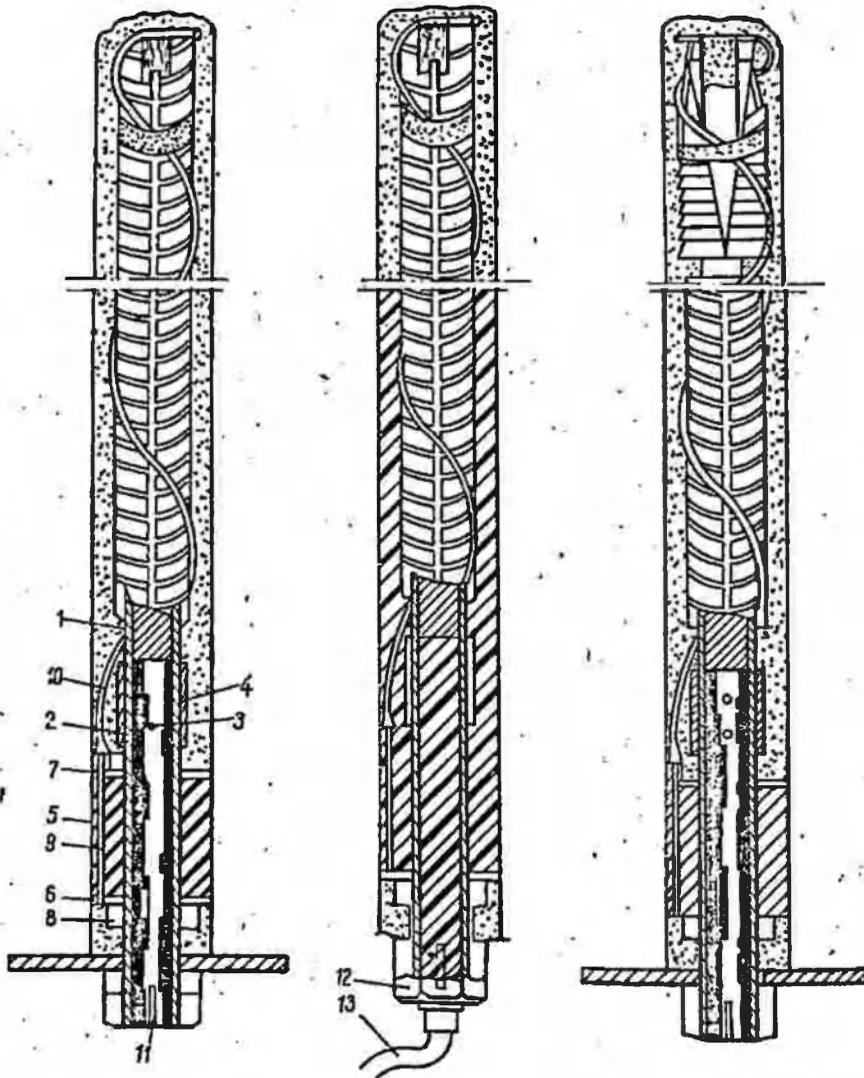


Рис. 8. Конструкция штанги, закрепляемой методом натяжения смолы в шпур

труба 10 для выхода воздуха из шпура при заполнении его закрепляющим составом. Верхний конец этой трубы липкой лентой крепится к верхнему концу штанги. Для облегчения введения штанги в шпур воздухоотводная труба накинута на штангу по спирали.

Если при заполнении шпура смолой воздух из него может уйти через трещины, применять воздухоотводную трубку не обязательно, но при этом шпур нужно проверить на воздухопроницаемость.

В металлической трубке 2 имеется прорезь II, куда вставляется отвертка для предотвращения вращения трубы при затягивании гайки.

На выступающий из шпура конец штанги навинчивается длинная муфта 12, полностью перекрывающая прорезь II. Закрепляющий состав нагнетается через шланг 13. При такой конструкции штанги смола может применяться более жидкая.

В тех случаях, когда штангу требуется сразу же нагрузить, верхний конец ее имеет разрез, а раскрепление ее производится клином.

На руднике "Кируна" (Швеция) была испытана штанга клинового типа, закрепляемая смолой.

Обычная клинощелевая штанга в верхней части имеет 2 взаимно перпендикулярных разреза. В разрезы перед введением штанги в шпур вставляется клин. Нижняя часть клина в плане имеет вид крестовой коронки. Верху клин заострен.

Отличительная способность такой штанги - равенство ее диаметра и диаметра клина. Это облегчает установку штанги в заполненный раствором или смолой шпур. Эти штанги устанавливаются в шпуры диаметром I¹/₈ и I⁵/₁₆". Усилие установки - 5 т.

На руднике "Вентц № 1" (США) для крепления кровли выработок, пройденных в мягких сланцах, вначале применяли обычные штанги (4 ряда, расстояние друг от друга 1,2 м) с деревянными подхватками длиной 4,2 м. Длина штанг крайних рядов 11,6 м, центральных - 3,0 м. В последующем были проведены эксперименты с закреплением штанг смолой. Смола размещалась в капсуле длиной 300 мм и диаметром 25-28 мм. Наполнитель - кварцевый песок. Катализатор размещали в отдельной капсуле.

Штанги диаметром 25 мм с нарезкой с обеих сторон на длине 125 мм изготавливали из высокопрочной стали. На верхний конец штанги навинчивали муфту. На выступающий из шпура конец штанги навинчивали шайбу размером 152x152x10 мм. Штангу в шпур, в которм размещалась капсула со смолой, вводили одновременно вращая ее. Перемешивание смолы с катализатором производили 15-18

сек. Смесь сразу же твердела. Минимальное время выдержки до нагружения штанги 2 час. Из-за недостаточно тщательного перемешивания смолы и отвердителя некоторые штанги не выдерживали нагрузку.

Одновременно были проведены исследования по определению влияния размеров опорных шайб на несущую способность штанг, укрепленных смолой. С этой целью было установлено 322 штанги. Гайки на штангах затягивали с усилием 372-447 кг/м. За первую неделю работы штанг их натяжение снизилось на 15%, в том числе после 1,5 часов на 10%. Повторное натяжение не ликвидировало эту потерю. Было установлено, что потери натяжения при больших шайбах - меньше.

При использовании синтетических материалов для закрепления арматуры штанг существенным оказался вопрос выбора материала патрона, в котором размещается закрепляющий состав.

Первоначально патроны изготавливали из стекла или термопластических материалов (хлоридполивинил, полиэтилен, полистирол). Стеклянные патроны легко разбиваются в шпуре, но слишком хрупки при других операциях (перевозке, перегрузке и т.п.). Патроны из термопластов этим недостатком не обладают, но они в шпуре не разбиваются, а разрываются и не обеспечивают полный контакт между отвердевшей смолой и породой. Кроме того, они проницаемы для стирола. Было также предложено изготавливать патроны из бумаги или картона. Но такие патроны готовить и заполнять составом можно только перед употреблением, так как бумага чувствительна к воде и проницаема для стирола. К тому же такой патрон не разбивается, как стеклянный, и ухудшает сцепление смолы с породой.

Предложен сетчатый волокнистый патрон, пропитанный смолой, который не имеет отмеченных недостатков [34]. Волокнистая основа патрона готовится из искусственного волокна, целлюлозы или бумаги типа "крафт". Пропитывается патрон полиэфирной или эпоксидной смолой. Волокнистый материал делают в виде трубки. После пропитки один конец патрона закрывают уплотнительным колпачком, затем заполняют синтетическим материалом. На пропитывание расходуется 200-500 г смолы на 1 м³.

В шпуре такой патрон достаточно хорошо разрушается штангой, хотя он и менее хрупок, чем стекло, но более удобен для перевозки и хранения. Новые патроны непроницаемы для стирола.

Патроны из крафт-бумаги делают следующим образом. Два раза оборачивают крафт-бумагу вокруг стержня длиной 1 м и диаметром 22 мм. Образованную таким образом трубку погружают в раст-

вор, содержащий 35 весовых частей стирола и 65 весовых частей полиэфира. Затем патроны выдерживают в сушильном шкафу при температуре 120°C в течение получаса. На пропитку одного патрона расходуется 28 г полиэфира. Один конец такого патрона закрывают крышкой. Патрон заполняют тем же составом, что и для пропитки, с добавкой 50 весовых % карбоната кальция в порошке и 0,05% диметиланилина. В эту смолу погружают стеклянную трубку (наружный диаметр 10 мм и внутренний 8 мм, длиной 98 см). В трубке — 25 весовых % перекиси бензоила, во фталате метила. С другого конца патрон закрывают.

При температуре 20–25°C патрон можно хранить 3 месяца. За этот срок потерь в весе нет, в то время как патроны из непластифицированного поливинилхлорида за этот же срок теряют в весе 10% ввиду испарения стирола. Закрепление штанги происходит за несколько минут.

На рудниках Франции патроны с полиэфирной смолой для закрепления арматуры штанг первоначально изготавливали из бумаги или полиэтилена. Такие патроны хранятся 2–3 месяца, так как стирол, входящий в состав смолы, испаряется, мастика густеет. Штанга в таком патроне проталкивается с трудом, так как схватывание смолы наступает ранее, чем штанга достигает дна шпура. Кроме того, оболочки из мягких материалов затрудняют введение патрона в шпур. Поэтому одни рудники стали применять стеклянные патроны, другие — бумажные, пропитанные пластическим составом. Использовали также патроны с двойной оболочкой — одна из жесткого пластика в виде сетки, вторая — пластичная для обеспечения непроницаемости.

В США для размещения закрепляющих составов применяется пакет из пленочных материалов, образуемых из листа путем проклеивания или сварки с трех сторон. Четвертая сторона закрывается специальным зажимом после заполнения упаковки [33].

Такие патроны засылаются в шпур обычным забойником. При этом в упаковке вдоль одной его стороны делается специальный карман, куда вводится конец забойника. Возможен и второй вариант. Сварка (или склеивание) упаковки по короткой стороне производится на расстоянии примерно 10–12 см от края. Перед засылкой в шпур этот свободный конец упаковки загибается на патрон и привязывается шпагатом. При этом образуется "карман" для конца забойника.

В Японии [35] для закрепления арматуры штанг в шпурах предложен следующий состав: эпоксидная смола — 49%, отвердитель диэпикриамин — 2%, триэтилентетраамин — 2%, фурфуроловый спирт — 2%, наполнитель (кремнезем крупностью 150–200 меш) — 10%,

алундум - 8%, белый алундум - 27%. Через 24 часа после начала полимеризации прочность при сжатии оказалась 550 кг/см^2 , при растяжении - 330 кг/см^2 , модуль упругости - $9,8 \times 10^4 \text{ кг/см}^2$.

С использованием этого материала были проведены опыты по определению сил сцепления в зависимости от диаметров штанги и шпура, толщины слоя закрепляющего состава, а также состояния поверхности штанги (гладкая или с резьбой).

Установлено, что твердение состава начиналось примерно через 3 часа. В течение первых 4-х часов нарастание сил сцепления шло достаточно быстро, затем оно замедлялось и приближалось к постоянному значению. Сопротивление выдергиванию образцов (сила, отнесенная к площади поверхности обрыва) различных типов штанг одинакова, что позволило сделать вывод о том, что твердение состава и увеличение сил сцепления не зависит от площади контактной поверхности. Полная же вырывающая нагрузка на штангу увеличивается пропорционально площади контактной поверхности. Величина сил сцепления пропорциональна диаметру штанги.

Опыты по выявлению влияния толщины закрепляющего состава на величину вырывающей силы показали, что последняя не зависит от разности диаметров шпура и штанги.

Установлено, что характер изменения сопротивления выдергиванию во времени для гладких штанг и штанг с нарезкой одинаковый. Но срыв гладких штанг происходит по контакту, в то время как нарезанные штанги срываются с частью закрепляющей мастики. Величина силы закрепления обоих типов штанг в первые 10 часов одинакова, но уже через 24 часа у штанг с резьбой эти силы в 1,8 раза больше, чем у гладких, а через 48 часов - в 2 раза.

Установлено также, что силы сцепления на единицу площади контактной поверхности не зависят от толщины закрепляющего состава.

Силы сцепления закрепляющего состава с различными горными породами определяли в лабораторных условиях путем выталкивания кернов пород из металлических цилиндров. В кольцевое пространство между цилиндром и керном забивали закрепляющий состав. Условия твердения были различными: керн помещали в воздушную среду с нормальными условиями, смачивали водой, опускали в воду (в последних двух случаях керн предварительно выдерживали в воде в течение 24 часов).

Испытаниями установлено, что силы сцепления высушенных в естественных условиях образцов пород с закрепляющим составом, затвердевшим в воздушной среде, составляют: для гранита - 236, слабого песчаника - 160, андезита - 202-209, роговика - 203, порфирита - 204 кг/см^2 . Наиболее интенсивно силы сцепления на-

растает в первые 3 часа после начала полимеризации. Для влажных поверхностей силы сцепления на 22-33% ниже, чем для сухих. Силы сцепления образцов, предварительно выдержанных в течение 24 часов в воде, а затем и твердевших в воде, составляют всего лишь 16-20% от сил сцепления при сухих поверхностях. Для влажных условий предложен состав со значительно улучшенными адгезионными свойствами (табл. 9).

Т а б л и ц а 9

Составы мастик для закрепления штанг во влажных и мокрых шпурах

Название компонентов	Содержание компонентов в мастиках, %	Силы сцепления с андезитом (кг/см ²) при хранении образцов		
		в сухой атмосфере	во влажных условиях	в воде
Эпоксидная смола	49			
Полиамидная смола	18	230	126	55,7
Диэтилентриамин	2 1/2	(202)	(47)	(31,1)
Белый алундум	50			
Эпоксидная смола	62	160	74	32,7
Полиамидная смола	36	(202)	(47)	(31,1)
Диэтилентриамин	2			

Примечание. В скобках приведены величины сил сцепления для улучшенного состава.

Французскими исследователями [36] были проведены опыты по определению зависимости прочности закрепления арматуры штанг в шпурах синтетическими смолами от вида стали (гладкая или рифленая), диаметра и типа штанг, длины закрепленной части штанг, свойств горных пород.

Испытания в лабораторных условиях показали, что вид горной породы мало влияет на прочность закрепления штанг, поэтому в дальнейшем все опыты проводили в бетоне.

Модели готовили следующим образом. Стальные трубы с внутренним диаметром 130 мм заполняли бетоном при помощи вибрирования. Затем по центру заполненного пространства проделывали шпур, диаметр которого соответствовал диаметру штанги. Штангу укрепляли так, как это делается на руднике.

Результаты испытаний некоторых штанг на выдергивание представлены на рис. 9 и 10.

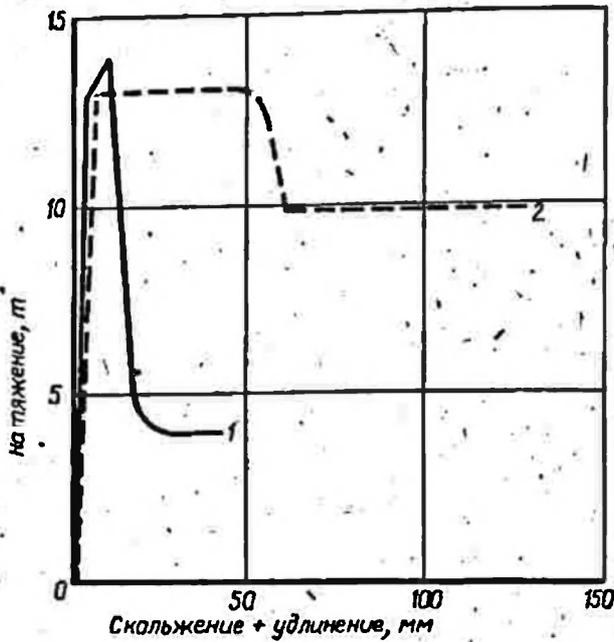


Рис. 9. Результаты испытания стержней из гладкой стали диаметром 22 мм на выдергивание из бетонных образцов:
1 - длина закрепления 200 мм; 2 - длина закрепления 1500 мм

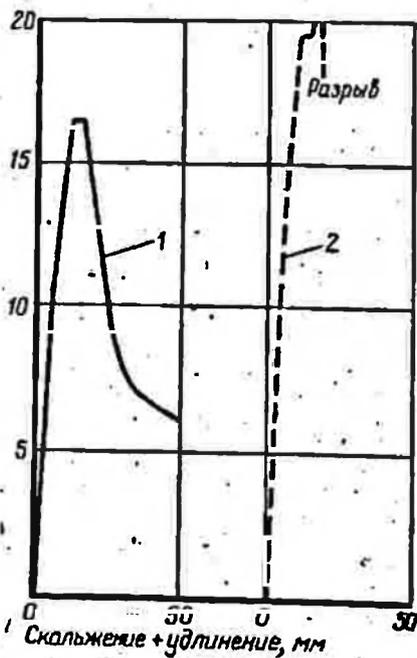


Рис. 10. Результаты испытания стержней из ребристой стали диаметром 20 мм на выдергивание из минерализованного известняка:

- 1 - длина закрепления 250 мм;
- 2 - длина закрепления 500 мм

Испытания в шахтных условиях показали, что скольжение рифленых штанг наблюдается только при небольшой длине закрепления (табл. 10).

Т а б л и ц а 10

Скольжение и прочность штанг из стали "Нерсид" диаметром 20 мм в шпурах

Параметры	Образцы		
	бетонные образцы	кальциты	мергели
Длина закрепления штанги, при которой происходит скольжение, м	0,25	0,25-0,5	0,25-0,5
Прочность, т/см закрепленной части штанги:			
максимум	0,84	0,65	0,65
минимум	0,56		0,44

При скольжении ребристая штанга срывает смолу. Поэтому при подборе состава следует учитывать не только прочность сцепления смолы со сталью, но и прочность затвердевшей смолы на срез.

При испытании на выдергивание штанг, сделанных из гладкой стали, в шахтных условиях выявлены следующие закономерности. При закреплении на длине 0,25 м в известняках и бетоне и 0,4 м в мергелях натяжение до момента скольжения пропорционально длине скольжения. Среднее сопротивление срыву составляет около 0,6 т/см. На рис. II показаны результаты испытаний. Вначале деформации медленно растут независимо от длины закрепления (до площадки N_1). После незначительной текучести деформации быстро растут даже с уменьшением нагрузки. Но полная потеря несущей способности штанг не наступает. Между пределом текучести и нагрузкой в 5 т деформации стабилизируются. Если приложить нагрузку более N_1 , скольжение может достичь очень больших размеров.

Опыты показали, что для полутвердых сталей площадка N_1 находится вблизи предела упругости штанги, для мягких и твердых сталей - ниже предела упругости, но возрастает вместе с ним. Ни в одном случае площадка N_1 не превосходила предел упругости материала штанги.

Исследователи считают, что при одинаковых марках стали увеличение диаметра штанги может привести к увеличению значе-

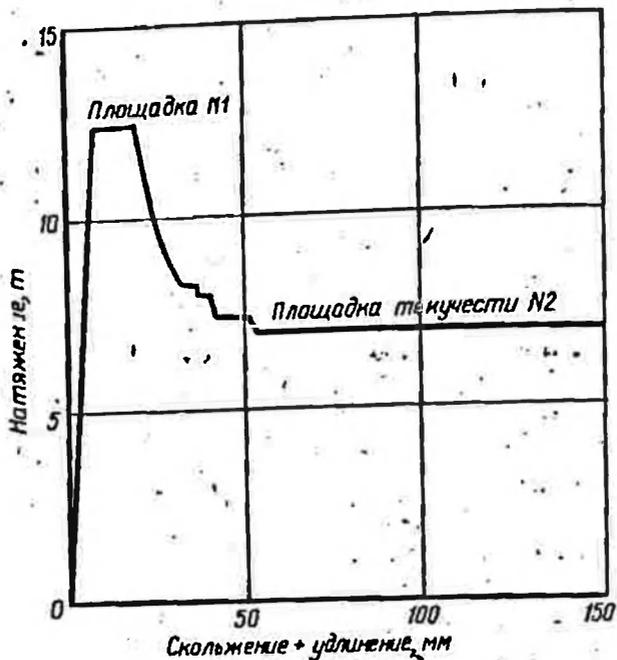
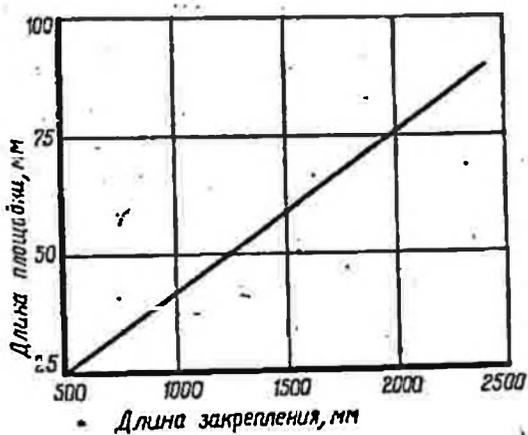
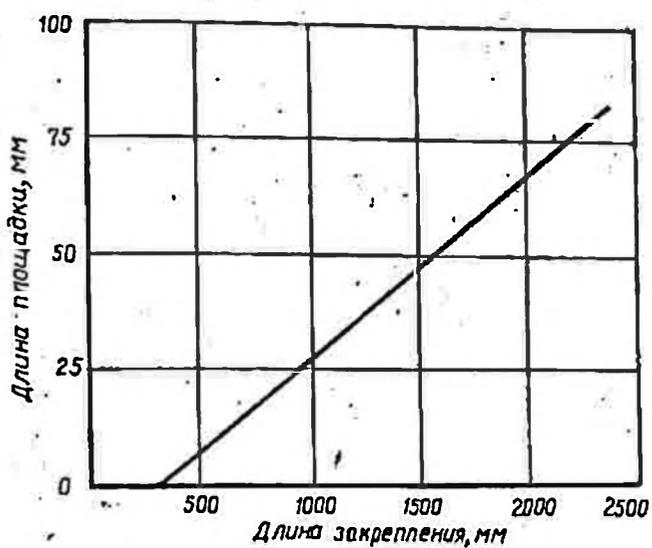


Рис. II. Результаты испытания гладких штанг диаметром 19,75 мм и длиной 740 мм на выдергивание из мергеля

ния N_T , другие же параметры (длина штанги, диаметр шпура, вид породы), по-видимому, не оказывают заметного влияния на N_T . Зависимости "нагрузка - деформация" (рис. I2, а и б) показывают, что длина штангования влияет на длину площадки N_T . Кроме того, установлено, что длина площадки N_T и ее форма связаны со скоростью натяжения штанги. При увеличении скорости натяжения площадка N_T поднималась до разрыва штанги, в основном по резьбе.

Хорошие результаты получены при испытании гладких штанг с нарезкой у верхнего их конца. Скольжение этих штанг незначительное. Они воспринимают значительные деформации без разрыва, излома или потери натяжения. При наличии нарезки деформации штанги не наблюдаются на том конце штанги, который расположен на дне шпура. Такой тип штанг наиболее приемлем для крепления слоистой кровли, способной со временем сильно деформироваться, а также для поддержания выработок, подверженных влиянию очистных работ. Наиболее удобны штанги из полутвердой стали, способные к значительному удлинению.

В НРБ [37, 38] были проведены лабораторные и промышленные опыты по закреплению штанг полиэфирной смолой "Виналкид 550-П" и эпоксидной смолой "Эпокса АП-1". Эти смолы устойчивы



• б

Рис. 12. Зависимость длины закрепления
штанг от длины площадки:
а - в минерализованном кварците;
б - в мергеле

к кислотам, маслам, они обладают хорошей адгезией к любым материалам и хорошей когезией. Отвердителем для смолы "Виналкид 550-П" была 50%-ная паста циклогексанонпероксида, растворенная в диоктидфталате, а для смолы "Эпокса АП-1" - этилендиамин. В качестве заполнителя (смола: наполнитель = 1:3) использовали промытый и просушенный при температуре 105°C в течение 2-х часов кварцевый песок следующего гранулометрического состава: класс +0,1-0,5 мм - 20%, класс +0,5-2 мм - 30% и класс +5 мм - 50%. Прочность образцов после двух часов твердения приведена в табл. II.

Т а б л и ц а II

Прочность образцов, выполненных на смоле "Виналкид 550-П" в зависимости от условий твердения и содержания ускорителя и отвердителя

Содержание ускорителя (нафтенат кобальта), %	Содержание отвердителя, %	Прочность на сжатие при затвердевании, кг/см ² .	
		в воде при $t = 16^{\circ}\text{C}$	на воздухе при $t = 35^{\circ}\text{C}$
2	1	12	96
4	2	23	192
6	3	42	240
8	4	95	300
10	5	148	368
12	6	128	330
14	7	122	318

Испытания на прочность закрепления производили со штангами диаметром 16 и 18 мм. Было установлено, что с увеличением глубины закрепления критическая нагрузка (нагрузка, при которой происходит срыв штанги) на 1 см² поверхности штанги уменьшается. Чаще всего штанги разрывались по резьбе. В рудничных условиях при глубине закрепления 250 мм и более прочность закрепления превышала прочность штанги на разрыв.

Смолу можно размещать в стеклянных, бумажных или пластмассовых патронах длиной 400-500 мм и диаметром 26-32 мм, а отвердитель - в стеклянных ампулах диаметром 5-6 мм. Для лучшего перемешивания смолы с отвердителем в шпуре конец штанги делают в виде рыбьего хвоста.

Полупромышленные опыты проводили в выработках, пройденных по среднезернистому мовцосиениту, тектонически нарушенному и

местами коалинизированному, с наличием зон, заполненных глиной и брекчией. Крепость этих пород - 5-6.

Первую часть промышленных опытов проводили в глинистых сланцах, пересеченных альбитофирами. Породы трещиноваты, их крепость 2-3^ж). Другую часть опытов проводили в среднезернистых мондосиенитах, пересеченных алевролитовыми дайками и нарушенными трещинами (крепость 4-5), а также в среднезернистых и мелкозернистых олигоценых песчаниках с глинистыми спайками и прослойками алевролитов.

Опыты показали, что разница между диаметрами шпуров и штанг должна быть минимальной. Длина закрепления штанг смолой в выработках сечением более 5 м² должна быть не менее 400-500 мм, в трещиноватых породах с глинистыми прослойками - не менее, чем на половину шпура. Установлено, что полиэфирная смола через 2 часа набирает 40-50% прочности. В обводненных шпурах показатели прочности на 25-30% ниже, чем в сухих.

Эпоксидная смола начинает твердеть через 12 часов. Через 24-48 час твердения прочность закрепления штанг на 5-8% выше прочности закрепления полиэфирной смолой.

Опытами было установлено, что взрывные работы, проводимые через 2 часа после установки штанг, практически не оказывают на них никакого воздействия.

На ряде рудников НРБ в различных горногеологических условиях в течение 13 месяцев было установлено около 25 тыс. штанг на смоле и получены хорошие результаты. Техничко-экономические сравнения различных способов крепления показали преимущества этих штанг. Повышенная производительность труда, меньший вес крепи, легкость транспортировки ее от поверхности до забоя, монтаж, не требующий большой квалификации рабочих, - все это делает данный вид крепи особенно эффективным.

Закрепление штанг смолами не рекомендуется производить при больших тектонических нарушениях, в сыпучих или слабых глинистых породах, а также на обводненных участках.

В последние годы в СССР проведено ряд работ по применению синтетических материалов для закрепления арматуры штанг.

В Коммунарском горнометаллургическом институте [39] в качестве средств закрепления арматуры штанг были испытаны составы СШ на основе эпоксидных смол ЭД-5 и ЭД-6. В качестве отвердителя был использован полиэтиленполиамин (ПЭПА), пластификатора -

ж) Здесь и далее коэффициент крепости пород дается по шкале проф. Протоdjяконова.

жидкий тиокол (ЖТ) или дибутилфталат (ДФФ), наполнителя - сухой кварцевый песок.

Арматура штанг в замковой части была рифленой, на другом конце имелась резьба для гайки.

Составы паст приведены в табл.12.

Т а б л и ц а 12

Составы паст для закрепления арматуры штанг

Тип пасты	Компоненты пасты			
	смола	отвердитель	пластификат.	наполнитель
СШ-1	ЭД-5 (100)	ПЭПА (12)	ЖТ (10)	песок (200)
СШ-2	ЭД-5 (100)	ПЭПА (12)	ДФФ (10)	песок (200)
СШ-3	ЭД-6 (100)	ПЭПА (12)	ДФФ (12)	песок (200)

Примечание. В скобках указаны весовые или объемные части.

Смесь смолы, пластификатора и наполнителя может существовать практически неограниченное время. Пасты вводили в скважины в стеклянных ампулах и с помощью специального шприца. Прочность закрепления определяли прибором ПА-3, величина смещения регистрировалась индикаторной стойкой. Через 12-14 часов прочность закрепления штанг достигала в среднем 10,5 т. Нарастание происходило в течение 10 суток.

В связи с тем, что при закреплении штанг составами на основе эпоксидных и полиэфирных смол без особых катализаторов в среде с температурой 8-10°C не достигается достаточная прочность в первые 3 часа, работники Ленинградского горного института провели опыты по закреплению штанг мочевино-формальдегидной смолой МФ-17 с отвердителем ее щавелевой кислотой (12-15% веса смолы).

Смола и отвердитель были размещены порознь в полиэтиленовых или стеклянных патронах. Патроны засылают штангой в скважину. При разрушении этих оболочек смола с отвердителем заполняет кольцевое пространство в шпуре. Предварительно устье скважины перекрывается кольцом из мягкой резины или поролона.

Через 5-6 часов после установки несущая способность штанг достигает 80-85% проектной, при закреплении штанги на длине 70 см несущая ее способность составляет 5-6 т.

В лабораторных условиях было испытано по 24 штанги, закрепленных эпоксидной смолой ЭД-5 и смолой МФ-17. Температура

окружающей среды 8-10°C. Испытания показали, что несущая способность штанг, закрепленных на длине 50 см смолой МФ-17, достигала 6-7 т, причем интенсивный рост прочности наблюдался в основном в первый час после установки.

На шахте "Красногорская" (трест "Кузбассгидроуголь", комбинат "Кузбассуголь") в подэтажном штреке, пройденном по угольному пласту, были испытаны штанги, закрепленные смолой МФ-17. Испытания показали, что их несущая способность при длине заделки 50 см через 4-6 ч достигала 3,5-4,5 т. Температура окружающей среды от +3 до +5°C.

При температурах выше +20° полиэфирные смолы отверждают перекись или гидроперекись изопропилбензоила (гипериз) с использованием в качестве ускорителей диметиланилина и ускорителя НК. При более низких температурах такая система инициатор - ускоритель малоэффективна.

Для отверждения при температурах от +5 до +15°C была использована трехкомпонентная иницирующая система: гидроперекись изопропилбензоила (3-5%) + ускоритель нафтенат кобальта (8-10%) + портландцемент 500.

Отверждающие добавки вводили в предварительно охлаждаемую смолу и выдерживали в холодильной камере при заданной температуре в течение 6 часов, после чего образцы испытывали. Температуру твердения принимали +5, 10, 15 +1°C.

Испытаниями установлено, что прочность образцов при сжатии растет с увеличением температуры от +5 до +10°C, а затем резко падает (для составов с содержанием цемента 200, 250 и 300%).

Результаты лабораторных исследований были подтверждены производственными испытаниями на руднике "Западный" комбината "Ачполиметалл" в одном из штреков при температуре от +11 до +12,5°C. Для подачи составов в шпур использовали то же оборудование, что и для установки железобетонных штанг.

Испытания показали, что через 6 часов указанный состав в смеси с песком не отверждается, а через 24 час происходит частичное отверждение. При введении же в композицию цемента отверждение происходит через 4-5 час. Усилие закрепления через 6 час достигает 9-10 т.

В СССР были проведены опыты по определению работоспособности распорных замков штанг из капрона и стекловолокнита АГ-4. [40].

Для изготовления полумуфт распорного замка использовали капрон с пределом прочности при сжатии - 700-800, растяжении -

450-500 и изгибе - 800-900 кг/см² при удельной ударной вязкости - 100 кг·см/см². Способ переработки - литье под давлением.

Капроновые полумуфты испытывали в сочетании с металлической клиновой гайкой и стержнем диаметром 20 мм. Муфты длиной 105 мм и диаметром 40 мм имели ребристую поверхность.

В пласте угля стержни вытягивали при нагрузке 800 кг, при этом ребра полумуфт срезались. При усилиях 900-1000 кг полумуфты растрескивались и после снятия нагрузки выпадали из скважины. В аргиллитах эти муфты выдерживали нагрузку 1000-1200 кг, после чего в них появились трещины и они свободно извлекались. В песчаниках полумуфты разрушались при нагрузках 800-1400 кг. Испытания показали, что несущая способность капроновых полумуфт оказалась недостаточной.

Были также испытаны полумуфты из стекловолокнита АГ-4 с пределом прочности при сжатии 1300, при растяжении - 800 и статическом изгибе - 1000 кг/см². Полумуфты изготавливали методом компрессионного прессования при давлении 450±50 кг/см² и температуре 160-180°С.

При испытаниях установлено, что прочность закрепления штанга из стекловолокнита в песчаниках крепостью 5-6 - 3,0-3,5 т, в аргиллитах крепостью 3-4 - 7-7,8 т, в угле крепостью 1,5-2 - 7,5 т. Штанги со стекловолокнистыми полумуфтами отличаются достаточно большой прочностью закрепления, их легко и просто устанавливать. Они позволяют снизить расход металла на 40-50%. Себестоимость комплекта штанг со стекловолокнистыми полумуфтами на 30% ниже металлических.

Практикой установлено, что наиболее эффективно устанавливать штанги, закрепленные смолами для рудоспусков, разгрузочных желобов, пересечений скреперных штреков (где из-за сейсмического воздействия взрывов или разрушающего воздействия движущейся руды срок службы обычных штанг невелик); обычных штреков на большой глубине (где наблюдаются необычайно высокие напряжения боковых пород); вентиляционных стволов шахт; очистных забоев (где крепление штангами заменяет систему слоевой выемки с закладкой). В местах интенсивного разрушения пород смолу и штанги рекомендуется применять вместе с металлической сеткой.

Использование синтетических смол для закрепления штанг значительно повышает надежность крепи, улучшает условия эксплуатации выработок, повышает срок их службы и снижает затраты на их ремонт и поддержание.

В ы в о д н

Применяемая на рудниках СССР в широких масштабах штанговая крепь за последнее время претерпела существенные изменения: на смену клиновым и распорным штангам пришли железобетонные, отличающиеся простотой конструкции и установки, низкой стоимостью, способностью связывать через цементно-песчаный раствор арматурный стержень с поддерживаемыми породами по всей длине штанги.

Вместе с тем длительная эксплуатация выработок, закрепленных железобетонными штангами, выявила и ряд существенных их недостатков. Самый основной из них — большой срок твердения закрепляющего раствора. Железобетонные штанги в условиях быстро развивающегося горного давления и систематического ведения взрывных работ не оправдывают своего назначения (нарушаемый в период твердения цементно-песчаный раствор не обеспечивает достаточную прочность закрепления арматурных стержней штанг).

Второй крупный недостаток железобетонных штанг — низкая сопротивляемость затвердевшего цементно-песчаного раствора изгибающим, ударным и истирающим нагрузкам.

Эти недостатки устраняются полностью или частично при применении для закрепления штанг синтетических смол. Регулируемая скорость твердения закрепляющих составов — от нескольких минут до нескольких часов, высокая прочность затвердевшего состава создают благоприятные условия для широкого применения нового способа закрепления штанг в любых горногеологических условиях (особенно для крепления выпускных выработок блоков при отработке месторождений системами с массовой отбойкой руды и выработок, проходимых по слабым и весьма слабым породам). Зарубежная практика подтвердила не только техническую возможность, но и экономическую целесообразность применения нового способа закрепления арматуры штанг в этих весьма неблагоприятных условиях.

В нашей стране этим способом закрепления штанг занимается ряд организаций и в ближайшее время намечается провести широкие испытания штанг, закрепляемых смолами, для поддержания кровли очистных камер (Дзезказганский комбинат), для крепления выработок горизонта скреперования (Лениногорский комбинат) и выработок, проходимых по слабым и весьма слабым породам (Текелийский рудник).

УКРЕПЛЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ХИМИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Технология укрепления

Укрепление пород химическими материалами основано на их способности под действием отвердителей образовывать прочные и

водонепроницаемые гелеобразные соединения, которые при дальнейшем твердении связывают сыпучие и сильнонарушенные породы в плотный монолитный массив.

Одним из первых материалов, использованных для химического закрепления пород, был кремнекислый натрий. Его начали применять в Европе с 1919 г., а в США с 1930 г. В последние 15 лет стали применять хромовый лигнит и раствор АМ-9.

Проницаемая способность материалов на основе кремнекислого натрия несколько лучше, чем цементных растворов, однако недостаточна для тампонирования мелкозернистых и мелкотрещиноватых пород.

Лигниновая жидкость (побочный продукт сульфитного процесса при изготовлении бумаги) в сочетании с раствором дихромата натрия быстро образует гель. Время гелеобразования можно регулировать ускорителем (хлорное железо) и содержанием дихромата. Материалы на основе хромового лигнина обладают хорошей проницаемостью, однако они легко вымываются, из-за чего затрудняется управление процессом и временем гелеобразования. По этим причинам растворы хромового лигнина не получили широкого распространения.

Химические материалы на основе акриламида дают хорошие тампонажные растворы, по своей вязкости они мало отличаются от воды, а следовательно имеют высокую проницаемость [41]. Растворы дают эластичные и твердые гели с хорошо регулируемым временем гелеобразования (химический раствор АМ-9, созданный в 1953 г. фирмой "Американ Сайанамид", и сумисойл, выпускаемый японской фирмой "Бульдозер Кодзи Компани").

Наиболее распространенным за рубежом химическим веществом для укрепления горных пород является раствор АМ-9, представляющий смесь акриламида и NN - метилен-бис-акриламида в виде сухого белого порошка [42]. В качестве катализатора используется персульфат аммония и диметиламинопропионитрил. Водный раствор готовят от 3 до 50% по весу. Замедлителем может быть железосинеродистый калий.

Плотность порошка АМ-9 - $0,6 \text{ г/см}^3$, он хорошо растворим в воде и нерастворим в маслах. Раствор АМ-9 обладает низкой вязкостью, благодаря чему он проникает в тончайшие трещины. Важнейшим достоинством раствора АМ-9 является возможность точного регулирования времени гелеобразования и твердения в широких диапазонах. В неактивированном состоянии АМ-9 является токсичным веществом. Для геля АМ-9 неизвестны растворители, поэтому во влажной среде он сохраняет свою форму и консистенцию. При высыхании чистый гель имеет тенденцию к растрескиванию. Однако при ороше-

нии водой трещины затягиваются и первоначальный объем восстанавливается.

Сумисойл представляет собой водорастворимый порошок, являющийся, по данным фирмы, смесью акриламида и небольшого количества агента поперечной связи [43]. Под действием катализатора сумисойл образует прочный гель. При приготовлении тампонажных растворов добавляется инициатор в виде водного раствора.

Раствор сумисойла по вязкости мало отличается от воды. Эта вязкость сохраняется до момента гелеобразования, которое регулируется от нескольких секунд до нескольких десятков минут. Сумисойл применяют для укрепления и закрытия водопритоков в весьма тонкозернистых породах. Максимальная прочность геля достигается сразу же после образования. Эти качества оправдывают его применение как самостоятельно, так и в сочетании с цементом.

Время гелеобразования сумисойла существенно сокращается при повышении его концентрации до 5-8%, при повышении температуры раствора и тампонируемой среды, оно зависит от pH воды и его можно регулировать ускорителями или замедлителями. Состав раствора определяется условиями тампонирования и прежде всего температурой среды и необходимым временем гелеобразования.

Для нагнетания растворов в грунт через скважины используют два насоса одинаковой производительности, работающие параллельно. Растворы смешиваются в V-образной головке нагнетательной трубы.

В зависимости от крупности частиц укрепляемого грунта раствор рекомендуется нагнетать под давлением: в песок крупностью 1-0,5 мм - менее 1 атм, крупностью 0,5-0,2 мм - 2-4 атм, крупностью 0,2-0,05 мм - 3-6 атм и в ил - 4-7 атм. В результате укрепления коэффициент фильтрации песков снижается с 10^{-2} - 10^{-5} до 10^{-9} - 10^{-10} см/сек, а прочность его сразу же после образования геля составляет 4-5 кг/см², достигая к концу месяца хранения в лабораторных условиях 100 кг/см² (рис. 13). Добавка цемента к раствору сумисойла ускоряет гелеобразование и увеличивает его прочность (рис. 14).

Сумисойл - химически устойчивое токсичное вещество. Срок службы его считается практически неограниченным. Сумисойл и его растворы токсичны, но полимеризованный сумисойл безвреден. Необходимо соблюдать осторожность и в обращении с замедлителем.

Для закрепления подвижных песков вводится применение 50% ний раствор эпоксидной смолы (например, эпикот 828) с затвердителем [44]. В качестве растворителя используют смесь ароматических углеводов или смесь одного или нескольких ароматических углево-

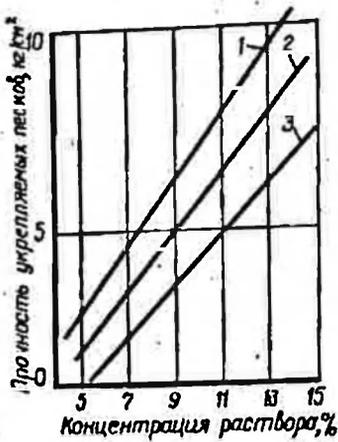


Рис. 13. Влияние концентрации раствора сумисола на прочность песков различной плотности: 1 - плотность песков 1,6 г/см³; 2 - плотность 1,57 г/см³; 3 - плотность 1,37 г/см³.

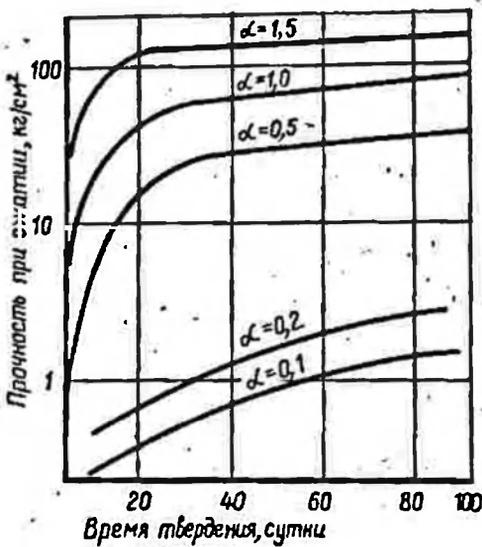


Рис. 14. Зависимость нарастания прочности при сжатии от времени твердения

дов с одним или несколькими углеводами. Затвердители - амины, инициатор - третичные амины. Прочность укрепленного материала может быть повышена увеличением содержания смолы. Однако при этом снижается проницаемость раствора.

В Швейцарии выдан патент [45] на способ упругого или пластичного закрепления и уплотнения слабых и рыхлых пород. Сущность способа заключается в нагнетании в горные породы связующего (феноловые аминокислоты, полиуретаны, полиэфирные или эпоксидные смолы), затвердителя (кислоты, полиспирты, полиамиды) и пластификатора. В зависимости от вида и количества добавки можно добиться нужной пластичности или эластичности.

В качестве пластификаторов и эластификаторов могут применяться каменноугольные смолы, нефтяные битумы, тяжелые масла,

стеариновый пек, сульфатный пек, кислотные шламы, талловые масла и другие.

С применением смол (0,5-3% веса упрочняемого массива) и пластификаторов (10-75% веса смолы) можно добиться полного восстановления прочности разрушенных пород. В сильно разрушенные породы рекомендуется добавлять к связующему заполнители (песок, гравий, кварцевая мука, каолин и др.). Нагнетание составов производится при давлении до 250 кг/см^2 (обычно 15-50 атм.). Извлеченные через 36 час образцы имели прочность при сжатии 243 кг/см^2 , при упругой деформации 1,3%. Незакрепленная порода имела прочность 65 кг/см^2 .

В СССР разработаны и применяются способы укрепления мелких, пылеватых, сухих и водонасыщенных пород недорогими и недефицитными карбамидными смолами и полимерами фурфурольного типа. Грунты с содержанием глинистых от 1 до 3% и карбонатов от 0,1 до 3% предварительно обрабатываются раствором соляной кислоты 3-5% ной концентрации.

Опыты по искусственному укреплению песков крупностью 0,5-0,25 мм мочевино-формальдегидной смолой МФ-17 были проведены в Институте горного дела им. А.А.Скочинского [46]. Испытания образцов на водонепроницаемость показали хорошие результаты при всех сроках хранения в водной и в воздушной средах.

Опыты по укреплению песков были проведены с применением мочевино-формальдегидной смолы 40%-ной концентрации с добавлением 4% щавелевой кислоты и 0,5% метилсиликата (МСГ-9). При воздушном твердении образцы на 28 сутки имели прочность на сжатие в воздушной среде 56 кг/см^2 , а в водной среде - 15 кг/см^2 . Коэффициент фильтрации изменился с $3,2 \cdot 10^{-6}$ до $0,045 \cdot 10^{-6} \text{ см/сек}$.

Образцы из песка, укрепленного меламинамочевиноформальдегидной смолой ММ-2, через сутки имели прочность $32-80 \text{ кг/см}^2$, а через 28 суток - $62-112,5 \text{ кг/см}^2$.

Аналогичные опыты были проведены с применением меламинамочевиноформальдегидной смолы с добавкой контакта Петрова, смолы МФФ, модифицированной акриламидом с добавкой персульфата аммония и щавелевой кислоты, смол 89 и МФА-155. Все эти вещества упрочняют пески и уменьшают коэффициент их фильтрации.

Сотрудники научно-исследовательского института оснований и сооружений предложили на строительной площадке Южно-трубного завода (Никополь) 50%-ным раствором крепителя М укрепить лессовидные грунты [80]. Было установлено, что растворы крепителя М применимы для грунтов с коэффициентом фильтрации

0,3 м/сутки. При этом радиус закрепления изменялся от 0,3-0,4 до 0,6-1 м.

Обработке песков меламиномочевиноформальдегидной смолой с отвердителем дихлоревой кислотой (10-15%) позволила получить образцы с прочностью при сжатии 25-32 кг/см² (хранение в воздушной среде) и до 100-110 кг/см² хранения в водной среде. Аналогичные результаты получены и в производственных условиях при укреплении песков Раздольнинского серного карьера.

Производилось укрепление песков смолой ММ-2 с добавкой в качестве отвердителя 30% керосинового контакта Петрова. Укрепленные этим составом пески через 7 суток имели прочность при сжатии при хранении в водной среде 50 кг/см² и при хранении в воздушной среде 90 кг/см².

В Криворожском научно-исследовательском горнорудном институте для упрочнения пород использовали наименее дефицитные мочевиноформальдегидные смолы МФ-17, МФРЖК, МФА 17/40, крепитель "К", МФС-1, МФС-7, МФЦ, МФФ-1, МФФА в виде их водных растворов с концентрацией от 10 до 50% (в расчете на сухую смолу). Отвердителями были дихлоревая кислота и хлористый аммоний [48]. Результаты укрепления проведены в табл. 13.

В главном Горном институте ПНР разработан метод укрепления неустойчивых пород карбамидными смолами, позволяющими повышать прочность пород до 150 кг/см² [47].

В США для укрепления пористых пород запатентовано несколько составов с использованием в качестве связующего средства мочевиноформальдегидного конденсата, чистых формальдегида и мочевины, а в качестве катализатора - гидроксида щелочи [49].

Для тампонажа водопритока в скважины разработан состав, состоящий из 37% формальдегида, 10-15% метилового спирта и воды. Катализатор - хлористый аммоний, инициатор - гексаметилтетрамин [50].

Для приготовления состава можно использовать концентрат, состоящий из формальдегида (около 60%) и мочевины (около 27%).

Укрепление пород синтетическими материалами может применяться при проходке и эксплуатации горных выработок для повышения устойчивости пород, при устройстве противофильтрационных завес на карьерах и в гидротехнических сооружениях, для увеличения несущей способности оснований зданий и сооружений.

Укрепление скальных сильнотрадионоватых пород

Результаты экспериментальных работ по упрочнению пород синтетическими смолами, проведенных в США, ФРГ и других странах,

Прочность образцов через 24 часа после укрепления их различными смолами

	Предел прочности при сдвиге, кг/см ²												
	Смешанных или пропитанных растворами смол												
ос- раз- цов до обра- ботки смола- ми.	МФ-17	МФХК	МФА 17/40	МФМ	кре- пите- лем К.	смесь смол МФХК и кре- питель К.	МФС-1	МФС-7	МФФ-1	МФЦ	ММА	МФД	
Мергилловые руды (крепость 4-6)	12-15	55-100	55-100	25-70	65-120	50	75-110	60-70	55-60	70-90	-	25-70	25-40
Мергилловые руды (крепость 2-4)	8-12	40-70	25-40	25-70	40-75	-	65-100	60-70	50-60	60-80	40-50	30-40	25-40
Хлорито-аспидные сланцы (крепость 4-5)	25	12	12	-	12-44	14	-	12-16	20-25	15-18	-	-	10-12

показали, что склеиванием можно остановить начавшееся разрушение массива. После нагнетания в породы смол восстанавливалась их несущая способность, что позволяло удалять ранее установленную крепь и проводить выработки без всяких осложнений.

На руднике "Хоумстейк" Горным бюро США и компанией "Хоумстейк Майнинг Компани" была определена глубина проникновения жидкости в горные породы [51]. Для этих целей был разработан хром-дигниновый гель (время схватывания - 25 мин).

Раствор нагнетали в скважины диаметром 38 мм и глубиной 2,1 м под давлением 7 атм. Плоскости излома были в пределах 1,5 м от устья скважин, их мощность - до 6,4 мм. Исследование скважин велось с помощью стратоскопа. Нагнетание было проведено успешно.

Позже для определения проникновения раствора в нарушенные породы в трех местах нагнеталась полиэфирная смола. Одновременно были применены арматурные стержни из стали периодического профиля. Нагнетание смолы производили двумя поршневыми насосами со смешиванием смолы и катализатора в скважине с помощью специальной пустотелой пробки. Чтобы сократить утечки смолы перед нагнетанием, все трещины на поверхности были заделаны быстротвердеющим цементом. Помимо укрепления смолой в шурупы, через которые нагнетали смолу, вставляли арматурные стержни диаметром 22 мм. После твердения смолы выбуривали контрольные скважины, стенки которых исследовали стратоскопом. В отдельных случаях контроль за укреплением производили осмотром взорванной упрочненной породы.

После осмотра скважин и отбойки породы было установлено, что вся смола затвердела удовлетворительно и крепко сцепилась с породой и с арматурными стержнями.

Аналогичные опыты были проведены в умеренно трещиноватых биотитовых сланцах. Наблюдения велись в течение 3 лет. Было установлено, что в укрепленных смолой породах трещины не образывались, в то время как породы, закрепленные только штангами, продолжали разрушаться.

Случаи обрушения пород не наблюдались и на участке, закрепленном смолой в сочетании со штангами, подвергнувшись влиянию очистных работ. Незакрепленные же смолой породы продолжали разрушаться.

Опыты показали, что полиэфирная смола и арматурные стержни достаточно хорошо укрепляют породы.

Способ укрепления пород эпоксидными смолами в США применяли при проходке выработок, кровля которых ранее поддерживалась

штэнгами о металлических подхватами [52]. Так, успешно было укреплено 43 м кровли и израсходовано 677,6 л смолы.

Восстающий на шахте "Амалия" (ФРГ) укрепляли нагнетанием (при давлении до 2000 атм) твердеющей в холодном состоянии эпоксидной смолы с отвердителем - ферзамидом в соотношениях 2:1. Гелеобразование происходило в течение часа, а твердение в течение 6-20 час. Нагнетание смолы в скважины глубиной 2-5 м и диаметром 42 мм производили до тех пор, пока она не начинала выступать из соседних скважин или пока не было израсходовано расчетное количество смолы. Эффективность укрепления оказалась высокой. Общая длина укрепленного участка - 23 м [53].

Для упрочнения слабой и очень слабой кровли пласта в бассейне Бланзи (Франция) использовали эпоксидные смолы "Трихазан А" и "Трихазан Б" в соотношении 2:1 [54]. При температуре 30°C их твердение начинается через 2 часа и заканчивается через 10 час. В одну скважину нагнетали 30 кг смолы.

Общее состояние кровли после инъекции значительно улучшилось. Однако при исследовании обрушенных пород большинство трещин оказались пустыми. Полагают, что незаполненными смолой оказались те трещины, которые образовались после инъекции смолы.

На одной из шахт Рурского бассейна приток воды повысился с 40 до 260 л/мин. Вода содержала значительное количество солей. Кирпичная крепь разрушалась. Для уплотнения пород применили эпоксидную смолу "Эпикоте 815" [55].

Смолу нагнетали за крепь в породе сначала на глубину 1 м, а затем на глубину 6 м. Для заполнения пустот за крепью в смолу добавляли кварцевую муку лабрадорита крупностью 0,2 мм в соотношении 1:1. Для заполнения тонких волосяных трещин использовали только смолу. Через неделю, когда в некоторых местах был обнаружен небольшой приток воды, он был ликвидирован повторным нагнетанием смолы.

Способ укрепления пород эпоксидной смолой дорог, тем не менее в ряде условий он может оказаться выгодным, ибо известно много примеров, когда в закрепное пространство стволов шахт нагнетали тысячи тонн цемента, а желаемого результата достичь не удавалось.

Лабораторными исследованиями было установлено, что нагнетанием смолы в слоистую породу можно создать породы более прочные, прочность которых в 3-4 раза выше прочности аналогичных несвязанных материалов [22].

Промышленные испытания способа упрочнения пород с использованием смолы "Рок-Док" проводились в США на шахте "Рентон" (штат

Пенсильвания) и на шахте № 14 компании "Ю.С.Стил" (штат Западная Виргиния). Смола нагнетали в напластования кровли под давлением около 210 атм. Поток смолы проникал на 12 м от точки нагнетания. Через 48 часов смола схватывалась и обеспечивала хорошее сцепление, вдоль скрепленной таким образом трещины обрушений не наблюдалось. Установлено, что контролировать поток смолы в кровле сравнительно трудно.

В ФРГ для укрепления пород применяют "Синопласт", получаемый из каменноугольных смол [41]. Он имеет хорошую водонепроницаемость, кислотоустойчив. На одной из строящихся шахт синопласт был применен для гидроизоляции ствола на участке длиной 53 м при прохождении его через пльвун мощностью 17,5 м. Синопласт укладывали в пространство между наружной и внутренней кирпичными стенками.

В зарубежной практике известно множество примеров использования реагента АМ-9 для укрепления пород и снижения водопритока при проходке горных выработок.

Десятипроцентный раствор реагента АМ-9 применили при проходке ствола шахты вблизи г. Сулливан (США), в которой на глубине около 350 м предполагалось пересечь пласт водоносных песчаников мощностью 4,5-6 м с мелкой трещиноватостью [56].

Раствор нагнетали через скважины диаметром 50 мм и глубиной 12 м. Период гелеобразования был принят 20 мин., конечное давление 79 атм., расход раствора на скважину составил 0,34-0,54 м³. В результате принятых мер приток воды с давлением 22 атм снизился с 270 до 54 л/мин.

Фирмой Сан Джозеф Лед Ко в Миссури после тщательных исследований раствор АМ-9 был выбран для предварительного цементирования перед проходкой трех различных стволов по водоносному песчанику. Опытами установлено, что в среднем объем цементного раствора требуется в 10 раз больше, чем раствора АМ-9.

АМ-9 был успешно использован на руднике в Канаде во время предварительной цементации двух участков в водоносной нарушенной зоне длиной 6 м. После укрепления приток воды в выработки был незначителен. Попытки предварительного цементирования не были успешными.

При проходке туннеля диаметром 3,6 м и длиной 4 км (Балтимора) с креплением ребристой стальной крепью (местами штангами) на участке очень слабых пород, расположенных выше пят свода, было произведено укрепление этих пород реагентом АМ-9 [77]. Скважины для нагнетания раствора бурили вблизи контура сечения выработки. На стабилизацию забоя требовалось 2-3 часа. Укрепляю-

дний раствор распространялся за пределы контура выработки, так что при проходке оставался укрепленный массив толщиной 1,2-2,2 м. Раствор АМ-9 применяют и для укрепления стенок скважин, когда большой приток воды мешает нормальному бурению.

Укрепление рыхлых грунтов

Впервые в СССР укрепление песчаных пород карбамидными смолами было проведено в Новгороде в 1958 г. [57]. В водонасыщенный пылеватый песок (содержание глинистых и пылевидных 3,3%) через инъекторы длиной 4,2 м под давлением (2-25 атм) первоначально нагнетали 5%-ный раствор соляной кислоты, а затем разбавленную водой (1:2) карбамидную смолу с добавкой 5-ного раствора соляной кислоты в количестве 6%. Раствор распространялся в радиусе 0,6 м. Прочность при сжатии укрепленного песка составила 20-30 кг/см². Стоимость смолы на 1 м³ укрепленного грунта - 4 руб.

На строительной площадке Кременчугской ГЭС были проведены опытные работы по устройству на глубине 2,5-5 м элемента противофильтрационной завесы в мелких песках (коэффициент фильтрации 2,5-3,5 м/сутки) с использованием водного раствора карбамидной смолы с отвердителем (3%-ный водный раствор соляной кислоты). Если грунт предварительно обрабатывали 1-3%-ным раствором соляной кислоты, прочность его при укреплении увеличивалась в 3-4 раза.

Институтом горного дела им. А.А.Скочинского укрепление песчаных грунтов миламиноочевиноформальдегидной смолой ММ-2 было произведено на Раздольском серном карьере [58, 59]. Прочность укрепленного песка достигала 100 кг/см².

В подземных условиях впервые в отечественной практике укрепление смолами водонасыщенных песков было произведено в 1962 г. в наклонном стволе шахты "Александровская", пройденном по обводненному песку. Применение химического раствора дало возможность пройти без осложнений наиболее тяжелой участок ствола шахты.

Опытно-промышленное упрочнение пород мочевиноформальдегидными смолами проведено на шахте "Коммунар" в полевом штреке, пройденном в сильно трещиноватых хлорито-аспидных сланцах крепостью 4-8 [48]. Штрек крепили металлической податливой крепью из СВН-17.

Для лучшего заполнения трещин смолу в штреке нагнетали 2-3 раза с интервалами 2-5 суток, а давление не снижали до нача-

ла твердения раствора. На участках с интенсивным расслоением дополнительно применяли штенги из стали периодического профиля № 18 с закреплением их тем же составом, имеющим после твердения хорошее сцепление с породой. Наблюдения показали, что после нагнетания смолы расслоение пород значительно сократилось.

При проходке наклонного ствола диаметром 6 м и длиной 280 м в карьере Ингулецкого горнообогатительного комбината были встречены обводненные породы. В подобных условиях в качестве крепи применяли чугунные тубинги, а проходку вели с замораживанием пород. Применяли и деревянное шпунтовое ограждение с ручной разборкой пород, но это ограждение пропускало воду и песок.

С целью ускорения проходки было предложено применять химическое укрепление пород мочевиноформальдегидными смолами МР-17 и МР [60].

Для укрепления пород было пробурено 206 м скважин диаметром 41 мм, израсходовано 18,8 м³ обрабатывающего и 34,9 м³ закрепляющего растворов. Обычное давление нагнетания - 3 атм, на участках сильно глинизированных прослоек - до 6-8 атм. Прочность укрепленного грунта составила 21,5-30,5 кг/см², коэффициент фильтрации 0,01-0,02 м/сутки. Общая скорость проходки ствола повышена в 1,7 раза. По прямым затратам стоимость укрепления 1 м ствола снижена в 2 раза по сравнению со способом замораживания пород.

В ФРГ на шахте "Конкордия" (Рурский бассейн) для предотвращения выдавливания угля в выработки через шпур глубиной 2,5 м и диаметром 1 5/8" в породу нагнетали эпоксидную смолу без наполнителя. Уголь был закреплен, процесс его выдавливания прекратился, однако метод оказался дорогим: на крепление израсходовано около 650 кг смолы.

Известны случаи применения химических материалов для заполнения пустот в закладке или за крепью. Так, фирма "Шаум Кемик Вильгельм Баур" (ФРГ) разработала метод получения химической модификации мочевиноформальдегидной пены непосредственно на месте из двух растворов с помощью сжатого воздуха ("изопены"). Изопену применяют для заполнения пустого пространства в закладочном массиве или обрушенном выработанном пространстве для забутовки пустот за крепью [61].

В Японии каждому практическому использованию сумисойла предшествуют работы по изучению грунтов и подбору состава в лабораторных условиях.

Этот материал нашел широкое применение при строительстве дамбы "Ивасе" (префектура Миядзаси), где была устроена противофильтрационная завеса в глинистых и песчано-глинистых грун-

тах [43]. Этим же раствором был укреплен грунт в котловане фундамента одного из крупных зданий в г.Осака. При этом к раствору добавляли цемент или летучую золу. Время гелеобразования было принято 15 сек. Израсходовано 25 м³ химикалий.

Известен пример щитовой проходки туннеля на небольшой глубине под полотном проезжей части улиц под прикрытием П-образной завесы, созданной тампонированием сумисойлом с поверхности. Сумисойл применяли для укрепления откосов, проведения тоннелей под реками, укрепления оснований под мостовые опоры и под фундаменты уже построенных зданий и установленных тяжелых машин, а также для тампонажа пространства за крепью выработок.

В СССР были проведены опыты по расширению скважин взрывом с одновременным закреплением стенок полимерами [62].

В устье одной скважины образовывали котлован размером 1,2х1,2х0,5 м. Затем станком СБУ-150 на глубину 6 м бурили скважину диаметром 180 мм. В скважине размещали заряд ВВ (пироксиленовый порох ВТ), предварительно замоченный в 50% растворе аммиачной селитры.

Укрепительный состав из смолы ЭД-5 с наполнителем (грунт, выбуренный из скважины) размещали в нижней половине скважины. После взрыва образовался шурф диаметром 850 мм с устойчивыми стенками. В верхней части шурф имел диаметр 700 мм. Смола ровным слоем покрыла стенки шурфа и даже частично внедрилась в грунт.

Другую скважину диаметром 180 мм и глубиной 5,5 м укрепляли мочевиноформальдегидной смолой МФ-17 (отвердитель - 10%-ный раствор шавелевой кислоты). В результате взрыва образовался шурф диаметром 960 мм.

Применение такого способа обеспечило уплотнение грунта (объемный вес грунта увеличился с 1,5 кг/л до 2,08 кг/л). Коэффициент запаса прочности уплотненного кольца составил 3,2. Стоимость 1 м шурфа, образованного при втором опыте, - 13,65 руб., в то время как при бурении стенками РТБ и креплении обсадными трубами стоимость 1 м составляет 180-200 руб.

В ы в о д ы

В настоящее время химическое укрепление горных пород производится для повышения механической прочности рыхлых грунтов и снижения водопроницаемости скальных, но сильно трещиноватых пород. И тот и другой вид укрепления существенно улучшает условия проведения и последующего поддержания выработок в слабых, несвязанных на слабых, трещиноватых и водоносных породах. Накопленный на

зарубежных предприятиях опыт позволяет применить химическое укрепление пород при проведении выработок в сложных горногеологических условиях ряда рудников цветной металлургии и в том числе на Текелийском, Золотушинском, Садонском, Тасеевском и других.

Однако использование химических материалов не ограничивается только этими условиями. При разработке мощных и средне-мощных месторождений параметры систем разработки ограничиваются устойчивостью горных пород. Но даже и при ограниченных размерах очистных пространств постоянно происходит обрушение вмещающих пород, что ухудшает технико-экономические показатели добычи (разубоживание пород) и снижает безопасность труда.

Повысить устойчивость горных пород можно путем их пропитывания синтетическими вяжущими веществами, которыми можно склеить разошедшие трещинами части горного массива. Некоторый положительный опыт в этом направлении уже имеется. В ближайшее время аналогичные работы предполагается провести на Тишинском руднике Лениногорского комбината.

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Проходка выработок в обводненных породах производится специальными способами, включающими и укрепление горных пород. Они позволяют ликвидировать или сократить приток воды в выработки во время их проведения. В период же их эксплуатации препятствием против проникновения воды в них является крепь, но она, как правило, не способна полностью прекратить это явление. Проблема борьбы с водопитоком в настоящее время решается путем создания в подземных условиях различных изоляционных покрытий. Ряд материалов для этих покрытий прошел успешные испытания и внедрен в производство.

Гидроизоляция

В Польской Народной Республике гидроизоляция ряда выработок произведена путем создания на их поверхностях асфальто-каучуковых покрытий [63].

В качестве исходных материалов для получения эмульсии использованы асфальтовая эмульсия, бутадиеностирольный латекс марки LBS - 50-43, латекс хлопчатенный МКВ фирмы "Бауэр" и коагулянты - 3-5%ный раствор CaCl_2 , BaCl_2 или $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Асфальто-латексные покрытия хорошо прилипают как к сухим, так и к влажным поверхностям, являются достаточно эластичными, сила сцепления составляет $4-6 \text{ кг/см}^2$, при испытаниях на водонепроницаемость пленки выдерживают давление от 15 до 20 кг/см^2 , они устойчивы против агрессивной воды, содержащей CO_2 , SO_4 , свободные кислоты и щелочи.

Асфальто-латексные или асфальтовые покрытия создаются методом набрызга эмульсии и коагулянта на изолируемую поверхность под давлением 3-4 атм. За один прием создается слой толщиной 0,5 мм. Каждый последующий слой наносится после высыхания предыдущего. Асфальто-латексные покрытия можно применять в сочетании с подкладками из полиэтиленовых или полихлорвиниловых пленок.

Практическое применение в подземных условиях асфальто-каучуковая изоляция нашла как антикоррозионное покрытие бетонных стенок подземного резервуара для агрессивной жидкости.

Механизированным способом 3 человека в течение смены могут изолировать 300 м^2 поверхности пленкой толщиной 5 мм. На 1 м^2 покрытия толщиной 1 мм расходуется асфальта 0,72, латекса (в пересчете на сухое вещество) - 0,1 и эмульгатора (CaCl_2) - 0,03 кг.

Для гидроизоляционных покрытий может быть использована холодная мастика, приготовляемая из смеси битумной эмульсионной пасты с порошкообразным наполнителем [35]. Состав мастики, %: 55 нефтешлака марки БН-Щ, 25 известкового теста (эмульгатор), 20 воды. Холодная асфальтовая мастика представляет смесь пасты (85%), порошкообразного наполнителя (обычно цемента - 12%) и воды (3%). Продолжительность хранения мастики не более часа. Мастика на подготовленные поверхности наносится полосами шириной 30-40 см с толщиной слоя 3-4 см.

Научный центр Объединения каменноугольных шахт в Кладно (ЧССР) изоляцию шахтных перемычек производил каучуковым латексом [64]. Однако этот материал оказался сравнительно дорогим. Его можно наносить только на сухие поверхности. Поэтому последние исследования велись в направлении определения возможности применения смолистых веществ в виде эмульсии, в которых асфальт тонко диспергирован в водной фазе, содержащей эмульгаторы и стабилизаторы. Для этого был применен каучуковый латекс с коагуляцией 2%-ным раствором хлористого кальция или 2%-ным раствором сульфата алюминия.

Изоляционные покрытия из этого материала толщиной 5 мм сохраняют свою целостность и не лопаются даже при образовании

трещин в бетонном подстилающем слое. Они отличаются высокой водонепроницаемостью и устойчивостью к агрессивной воде. Покрытие хорошо прилипает ко многим материалам, даже если их поверхность влажна.

Процесс набрызга складывается из двух операций: из образования инфильтрационного слоя только из эмульсии, которым выравнивается поверхность, и из создания изоляционного слоя (эмульсия с осадителем). Пленка высыхает, как правило, за 2-3 дня.

Этот метод нашел широкое распространение, особенно в угольной промышленности Чехословакии [65]. Первыми среди шахтных объектов были трансформаторные камеры, которые предполагали изолировать от воды гудроном в горячем состоянии с прокладками в 3 слоя. Новым материалом было изолировано 12 камер общей площадью 3600 м². Бетонная крепь возводилась в 2 слоя, между которыми набрызгивалась асфальтолатексовая эмульсия толщиной 5 мм.

Для гидроизоляции шахты "Красный Октябрь" был использован метод набрызга эмульсии асфальта толщиной 20 мм по наружной бетонной кладке. Потом была возведена внутренняя крепь, а кольцевое пространство между ними толщиной 30 мм было заполнено цементным раствором.

При проходке ствола шахты "ЧСМ Стонава" (ЧССР) через газононосный слой пород наиболее надежным способом изоляции оказался набрызг асфальтолатексовой эмульсии [65]. Набрызг на внешнюю кирпичную стенку ствола толщиной 45 см производили снизу вверх заходками по 2 м. Толщина слоя - примерно 6 мм. В течение 40 мин было изолировано 50-60 м². После создания изоляционного слоя возводилась внутренняя кирпичная крепь толщиной 75 см.

Также была произведена изоляция на трех горизонтах приточной шахты и на одном горизонте вытяжной шахты. Всего было изолировано 3232 м².

Для углубляемого подъемного ствола "Индрих" (воды 130 л/мин, вода высокоагрессивная - 1000 мг SO₄ на литр) проектом была предложена гидроизоляция из 2-х слоев толи и трех асфальтовых покрытий. Накопленный опыт позволил применить в этих условиях асфальтолатексовую изоляцию толщиной 4-6 мм, которая от устья до отметки 17 м от поверхности располагалась между внешней и внутренней крепями, а от 17 до 720 м ее наносили непосредственно на породу с последующим возведением бетонной крепи толщиной 50 см. Примененный метод позволил сэкономить около 200 т цемента.

Метод набрызга асфальтолатексовой эмульсии с успехом был применен в качестве прокладочной изоляции при строительстве туннелей и для тампонажа горных пород.

Для гидроизоляции достаточно битумно-каучуковой пленки толщиной 5 мм. При этом 1 м^2 поверхности расходуется 8-10 кг 50%-ной битумно-латексной эмульсии. Пленка хорошо сцепляется с породой. Она сохраняет водонепроницаемость при давлении 20 кг/см^2 . Устойчива к агрессивным сернокислотным водам, углекислоте, к свободным кислотам и основаниям.

Для гидроизоляции напорных гидротуннелей в Швейцарии использовали полиизобутиловую пленку "Репанол" толщиной 1,5-2 мм, которую приклеивали в два слоя к бетонной крепи разогретым битумом. Это покрытие оказалось надежным только при небольшом давлении воды [66].

В СССР для целей гидроизоляции используются битумно-латексные эмульсии [67], представляющие смесь битумной эмульсии и латекса СКС-65 с коагулятором (5%-ным раствором CaCl_2).

Для нанесения покрытия используется агрегат ГУ-2. Покрытие создается в 3-4 слоя (расход эмульсии на один слой 2-4 л/ м^2). Производительность установки - 400 м^2 покрываемой поверхности в смену. Обслуживают установку 4 человека. Для повышения механической прочности покрытий и предохранения их от механических повреждений на них следует наносить либо сухую цементно-песчаную смесь (1:2) - 1 кг на 1 м^2 покрываемой поверхности, либо цемент - 0,5-0,6 кг на 1 м^2 покрываемой поверхности.

На 1 м^2 покрытия толщиной 1 мм расходуется, кг: битума - 0,72; латекса - 0,032; едкого натра - 0,012; жидкого стекла - 0,012; асидол мылонафта - 0,032; хлористого кальция - 0,032.

Битумно-латексная эмульсия, состоящая из нефтяного битума марки Ш и бутадиенстирольного латекса СКС-30 ШХП с коагулянтном в виде 5%-ного хлористого кальция, была использована в качестве гидроизоляционного средства при проходке ствола № 2 на Михайловском руднике Курской магнитной аномалии. Давление сжатого воздуха до 4 атм. За один прием создавалось покрытие толщиной 2-3 мм; общая толщина покрытия - 9 мм. Покрытие имело хорошее сцепление с породой.

Воздухоизоляция

Наряду с известными средствами в настоящее время для воздухоизоляции выработок и пород применяется ряд новых материалов и, в частности, полиуретановая пена, асфальтолатексовая эмульсия и др.

Впервые устойчивая жесткая уретановая пена для горной промышленности была разработана и применена Горным бюро США совместно с фирмой "Плейт Гласс". а первые испытания ее были проведе-

ны в феврале 1962 г. на руднике "Бьют" (США, штат Монтана) при температуре воздуха 17-36°C, относительной влажности 52-100%, скорости движения воздуха 15-390 м/мин [41]. Пену применяли для теплоизоляции горных пород, снижения водопитока из трещин при низких напорах, антикоррозионного покрытия стальных труб против коррозии и изоляции воздушных перемычек. Было покрыто 335 м² поверхности, на что израсходовано 500 кг материалов. Через 10 месяцев пена на 85% оказалась эффективной.

Эффективность полиуретановых покрытий видна на примере рудников "Бьют" и "Маунтин", где на большой глубине температура рудничного воздуха достигала +59,4°C. Усиленным проветриванием температуру поверхностного слоя пород удалось снизить только до +28°C. Но такой метод оказался слишком дорогим. Полиуретановые покрытия выработок толщиной от 17 до 51 мм оказались хорошим теплоизоляционным материалом и полностью прекратилось проникновение горячих паров в рудничный воздух. Одновременно пена явилась хорошим укрепляющим и склеивающим материалом, предупреждающим образование заколов и обрушение кусков породы. На 1 м² поверхности расходовался 1 кг пены, ее стоимость - 1,55 долл. за кг. В выработке сечением 3 x 2,3 м за 8-часовую смену можно покрыть 36 м поверхности.

Полиуретановую пену широко применяют на железном руднике "Хана" (США) для покрытия обнаженных поверхностей самовозгорающегося пиритного сланца, строительства воздухо непроницаемых перемычек для изоляции очагов пожаров, для уменьшения аэродинамического сопротивления и утечек воздуха из шахты [68]. На одной из шахт этого рудника после нанесения покрытия на площадь 820 м² (тресе рабочих затратили 120 час) утечка воздуха при общем его расходе 19 тыс. м³/мин. снизились с 2970 до 680 м³/мин. В течение года величина утечек не изменялась. На другой шахте применение покрытия только на части воздухопадающей выработки увеличило поступление воздуха в очистные забои на 10%.

Высокие изолирующие свойства полиуретановых покрытий были подтверждены на рудниках "Ваусек" и "Гайватс". [69].

В СССР возможность создания в подземных горных выработках - воздухо-, влаго- и теплоизоляционных пенополиуретановых покрытий была проверена сотрудниками института "ДонУТИ" и Владимирского научно-исследовательского института синтетических смол на шахте "Артем-2 Глубокий" треста "Шахтантрацит" комбината "Ростовуголь" [70].

Установлена хорошая адгезия пены с деревом, металлом, углем, породой, кирпичом и бетоном как на сухих, так и на увлажненных

поверхностях. Были выявлены хорошие теплоизоляционные свойства полиуретановых покрытий. Установлено также, что эти покрытия снижают аэродинамическое сопротивление выработок. Однако высокая токсичность на месте нанесения пены требует соблюдения мер предохранения работающих от ее вредного влияния.

На ряде шахт Восточного Мидленда жесткая уретановая пена, используемая для покрытия стен и кровли подготовленных выработок, предотвращала отслаивание отдельных кусков породы и таким образом осуществляла поддержание выработок.

На руднике компании "Ханна Коол" (Ирландия) применяли полиуретановые покрытия в качестве средства против расслоения пород в главных откаточных выработках. Только в одной из них было израсходовано около 160 т. материалов. При этом была получена экономия и достигнута лучшая изоляция [71].

Полиуретановые покрытия используют и для уменьшения утечек воздуха через перемычки. На одном из рудников ЮАР шлакобетонная перемычка пропускала 25 м³/мин воздуха. После нанесения на нее пены толщиной 2,5 см просасывание воздуха снизилось до 0,15 м³/мин. На другом руднике с помощью шести перемычек с полиуретановым покрытием удалось полностью прекратить утечку воздуха в штреке [20].

Перемычки с уретановым покрытием менее трудоемки и дешевле обычных. На возведение шлакобетонной перемычки с уретановым покрытием затрачивается 1/3 чел.смены. Стоит такая перемычка около 40 долл. На выкладку обычной постоянной перемычки расходуется 1 чел.смена. Стоит такая перемычка 74 долл. Временная парусиновая перемычка с уретановым покрытием возводится за 1 час и стоит 35 долл.

Время установки перемычек с полиуретановым покрытием по холсту снизилось с 18 до 4 чел.час (по сравнению с аналогичными перемычками, но с покрытием цементно-песчаным раствором). Стоимость перемычки с полиуретановой пеной 60 долл, в обычной перемычки—87 долл. На одном руднике в США деревянная перемычка площадью 5,3 м² была покрыта полиуретановой пеной (процесс покрытия продолжался 9 мин). Покрытие сохранилось при температуре 38°С.

Полиуретановые покрытия уменьшают сопротивление движению воздуха в выработках. Первоначальные затраты на эти покрытия окупаются стоимостью сэкономленной энергии на проветривание выработок.

Уретановой пеной можно тушить и изолировать пожары. Основной частью пены в таком случае является пламегасящий состав по-

лизфирполиола. Гасящее действие пены проявляется через 5 мин после нанесения ее на горячую поверхность.

Вспененное вещество можно применять и как крепь, укладываемую за опалубку. Такая крепь — ровная, ее можно сделать любого цвета и даже светящейся.

Для предохранения крепи от гниения, создания воздухо непроницаемых пленок применяется распыляемый пластик "кокон", состоящий из полихлорвинила, поливинилиденхлорида и поливинилацетата. Напыление жидкой пластмассы на ткань производится специальным пистолетом. Один рабочий за 8-часовую смену покрывает слоем жидкой пластмассы 80-100 м² поверхности. В период напыления (во взвешенном состоянии) этот материал токсичен и взрывоопасен.

На угольной шахте "Робэн" (США) для ограничения утечек воздуха применили прозрачную пленку из полиэтилена толщиной 6 мм [72]. Для этих же целей применили и нейлон, покрытый плотным слоем полихлорвинила. Вес тонких пленок — 35 г/м². Более тяжелые пленки имеют усиленные края и снабжены клапанами для пропуска людей и вагонеток. Они крепятся штырями к деревянному каркасу или к стенам и кровле выработок.

В Англии для борьбы с подземными пожарами и самовозгоранием угля применяют перемычки из мешков с песком или кирпича. Перемычки покрываются водными эмульсиями из синтетического каучука и полихлорпренового латекса. Эмульсия быстро высыхает даже во влажной атмосфере и имеет хорошее сцепление с материалом перемычки и породой.

Фирма "Дэнлоп" (Англия) выпускает надувные мешки для перемычек [41]. Общий вес перемычки 182 кг, толщина в надутом состоянии — 1,2 м. Перемычка бригадой из 4-х человек возводится в течение 3,5-4 мин. Ткань перемычки — невоспламеняющееся полихлорвиниловое волокно и стекловолокно повышенной прочности. Такие перемычки перекрывают воздушный поток на 90-95%. Мешки заполняются углекислым газом.

В ФРГ для противопожарных перемычек применяют перлоновые или нейлоновые мешки с покрытием из полиэфирных смол. Мешки заполняют азотом или сжатым воздухом, иногда для этого применяют воду. Такие перемычки плотно прилегают к контуру выработок [41].

Изоляция отработанных участков, повышение герметичности бутидовых полос, изолирующих вентиляционных перемычек и вентиляционных сооружений достигается при помощи разного рода пластмассовых пленок-тканей (пленка "винид", пленка-ткань "фейброн М-147", "джин", ткань "пласстоглас", нейлон, полихлорвинил, полиэтилен и др.).

В ЧССР для герметизации перемычек была использована каучуковая эмульсия — латексы, содержащие 60–70% каучука, тонко диспергированного в водном растворе [64]. Разбрызгиванием латекса одновременно с коагулянтом можно получить эластичное, связанное резиновое покрытие, хорошо прилипающее к дереву, бетону, углю, кирпичной кладке и т.д.

Были проведены опыты с искусственным каучуком, который лучше сопротивляется растворителям, более стоек к высоким температурам, старению и маслам, не горюч. При применении хлоропрена образование плесени на пленке исключено, хлоропреновые пленки обладают хорошими механическими свойствами (прочность при растяжении около 20 кг/см^2 , пленка разрывается только при 4–5-кратном удлинении, плотность пленки достаточно высока).

Применение быстротвердеющих пен в горной промышленности повысило безопасность работ, сократило затраты на вентиляцию, борьбу с пожарами, ремонт выработок и т.п. Пенные покрытия сокращают количество случаев обрушения пород и угля в результате предотвращения выветривания.

Применение синтетических материалов в прочих случаях

Фураново-эпоксидные составы обладают высокой механической прочностью, хорошим сцеплением с различными материалами, способностью твердеть при нормальной температуре с незначительной усадкой. Добавка мономера ФА в эти составы делает их менее вязкими и позволяет в ряде случаев обходиться без растворителей. Эти качества смол позволили готовить на их основе клеевые мастики [73, 74].

В состав клеевых мастик входят эпоксидная смола ЭД-5, мономер ФА, отвердители (полиэтиленполиамин и бензосульфокислота) и наполнители (кварцевый песок, тальк, андезитовая мука, некоторые окислы металлов, графит, сажа, кокс и др.).

Прочность соединения такой мастикой бетонных образцов через 2 недели твердения превосходит прочность склеиваемых материалов. Если же при склеивании довести температуру мастики до $80\text{--}100^\circ\text{C}$, то такая прочность наступает через 2–3 часа. Наличие влаги на склеиваемых поверхностях снижает скорость нарастания прочности клеевого соединения, тем не менее через месяц как когезионная, так и адгезионная прочности затвердевшей мастики превосходят прочность склеиваемого бетона. Оптимальные условия отверждения: температура от $+10$ до $+25^\circ\text{C}$, время твердения 18–24 час, положение поверхностей — фиксированное.

Адгезионные и герметизирующие качества мастики были проверены в производственных условиях при строительстве канализационных сооружений г. Москвы, где ее соединяли железобетонные кольца диаметром 2,5 м. Мастика уменьшает утечку воды в несколько десятков раз.

Для уплотнения горизонтальных и вертикальных швов тубинговых колец на шахте № 20/30 X Западно-Донбасская был применен полиэтилен высокого давления ПОВ-30 и ПОВ-40 [75]. Длительные наблюдения в агрессивной среде показали, что через эти швы проникновения воды не наблюдалось.

За рубежом для склеивания бетона чаще всего применяют эпоксидные, реже - поливинилацетатные клеи. Клеи на основе эпоксидной смолы обладают хорошей адгезией почти ко всем материалам, твердеют практически без усадки и не содержат летучих растворителей. Они допускают большую толщину шва, обладают высокой когезионной прочностью. Соединения на этих клеях водостойки, морозостойки, обладают теплостойкостью в 60-100° и удовлетворительно ведут себя при старении. Прочность клеев при растяжении, изгибе и сжатии превосходит прочность бетонов. Они химически стойки ко многим веществам. Отдельные недостатки эпоксидных клеев можно устранить путем совмещения их с фенольными, фуриловыми, меламиновыми и полиэфирными смолами, тиоколами и др.

В США на основе эпоксидных смол ЭПОН-828 и полисульфидов разработаны клеи Конкрезив [76]. При отверждении прочность клея на растяжение и изгиб выше, чем у бетона, а прочность при сдвиге 280-350 кг/см². Эпоксидные клеи применяют для заделки трещин и выбоин в бетоне, склеивания с бетоном каменных деталей, мрамора, асбоцемента, шифера и других строительных материалов, склеивания бетона со всякого рода металлическими деталями. Для получения готовой композиции клей смешивается с заполнителем.

Пленки из синтетических материалов находят применение в качестве водонепроницаемых экранов и покрытий в ирригационном строительстве [78]. Для этих целей могут быть применены полностью водонепроницаемые, прочные материалы.

Наиболее полно требованиям ирригационного строительства отвечают черные полиэтиленовые и виниловые пленки толщиной не менее 0,15 мм. В США выпускают виниловую пленку марки КДА-2765 с гарантийным сроком службы в подземных условиях 25 лет, во Франции - черную полиэтиленовую пленку FA-227, прессованную с целлофаном.

Поливиниловые материалы типа PVC применяют для покрытия водоотливных канавок [79]. Детали готовят на поверхности, а в

подземных выработках их склеивают, сваривают (горячим воздухом с температурой 400°C) или соединяют заклепками.

На шахте "Кампхаузен" (ФРГ) водный бассейн объемом 300 м^3 был покрыт фольгой (толщина 2 мм) из PVC. На покрытие было израсходовано 320 м^2 фольги и 160 м полосового железа (сечением $40 \times 6 \text{ мм}$) для навешивания фольги; сварено около 1000 м швов. Два слесаря и три вспомогательных рабочих этот объем работ выполнили за 3 недели.

Позже аналогичные работы проводились и на других шахтах с использованием полиизобутиленовой фольги.

Пенистые материалы нашли применение в Саарберге (ФРГ). ими заполняют полости, где могут скапливаться газы. Для этих целей применили газопроводящую пену из мочевины и формальдегида, приготовляемую на месте.

Уменьшение аэродинамического сопротивления выработок в ФРГ достигается покрытием кирпичной, бетонной или твинговой крепи полихлорвиниловой фольгой. Фольга армируется металлической сеткой. В Канаде стенки вентиляционных выработок обшиваются пластмассовой тканью. В ЮАР шероховатые выработки без крепи облицовываются жесткой уретановой пеной.

Стволы шахт, следующие одновременно для подачи и выдачи воздуха, разделяют на 2 части мелкоячеистой сеткой или досками, которые с обеих сторон обшивают пластмассовой пленкой. Иногда возводится перегородка из сборных железобетонных плит, соединенных в шпунт на мастике из эпоксидных или каменноугольной смол.

На Ундинском прииске комбината "Балейзолото" оттаивание песков для дражной разработки производили с использованием полиэтиленовой пленки.

Обычно оттаивание песков, промерзающих на глубину до $3,5 \text{ м}$, под действием солнечных лучей происходило до середины августа. с целью сокращения сроков оттаивания поверхность россыпи покрывали полиэтиленовой пленкой. Для этого по пескам укладывали на ребро рядами тесины, к которым прибивали полиэтиленовую пленку так, чтобы между ней и песком сохранялось воздушное пространство. Полосы пленки сваривали. В 1968 г. полиэтиленовой пленкой было перекрыто 10000 м^2 поверхности россыпи. Такой способ позволил ускорить оттаивание песков и увеличить сезон отработки россыпи на 2 месяца.

В ы в о д ы

Массовое внедрение набрызг-бетонной крепи показало, что в целом ряде случаев она лишь обеспечивает тщательную изоляцию пород от разрушительного действия рудничной атмосферы.

Применение вместо набрызг-бетона синтетических материалов, отличающихся высокой прочностью, позволит распространить этот способ поддержания на выработки, находящиеся в сложных горногеологических условиях (в зоне ведения очистных и взрывных работ и др.).

Большую сложность представляет поддержание выработок на рудниках, производящих добычу полезных ископаемых в зоне вечной мерзлоты. Поступающий в шахту воздух подогревается до температуры не ниже $+ 2^{\circ}\text{C}$. Происходит оттаивание пород, в результате чего они разрушаются, а выработки приходится крепить. Предотвратить разрушение пород в этом случае из-за их оттаивания можно с помощью создания на поверхностях выработок теплоизоляционных покрытий из синтетических материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная тенденция в совершенствовании способов крепления горных выработок в СССР и за рубежом - изыскание новых конструкций поддерживающих крепей, способных обеспечить сохранность горных выработок в любых горногеологических условиях. В последнее время созданы крепи, способные воспринимать равномерно распределенные нагрузки до 1000 т /м крепи. Увеличение грузонесущей способности поддерживающих крепей шло в основном по пути подбора более рациональной ее формы применительно к конкретным горногеологическим условиям, увеличения размеров крепи, применения материалов с более высокими свойствами и т.д.

Однако даже сверхмощные крепи не всегда оказывались надежными. Отсутствие полного контакта между крепью и породой приводило к тому, что на крепь воздействовали большие концентрированные нагрузки, оказывавшиеся для нее критическими.

С экономической точки зрения решение проблемы надежного поддержания горных выработок путем совершенствования конструкций поддерживающих крепей тоже оказалось не лучшим (стоимость усовершенствованных крепей резко возрастала, скорость крепления выработок снижалась).

В последние годы достигнуты большие успехи в области изыскания, разработки и внедрения новых способов поддержания горных выработок. Были разработаны, испытаны и внедрены в различных горногеологических условиях набрызг-бетонная и штанговая крепи, принципиально отличающиеся от всех известных ранее применявшихся видов поддерживающих крепей (монолитной бетонной и железобетонной, металлической, деревянной и др.):

Принципиальная отличительная черта новых видов крепи заключается в том, что они включают в работу по поддержанию выработок горные породы, слагающие их стены и кровлю. Используется высокая механическая прочность горных пород.

Особый характер работы набрызг-бетонной крепи состоит в том, что она, полностью контактируя с поддерживаемыми ею породами, образует единую систему "крепь-порода". Грузонесущая способность системы значительно превосходит грузонесущую способ-

ность крепи и породы, работающих порознь. Кроме того, набрызг-бетонная крепь обеспечивает идеальную изоляцию горных пород от вредного воздействия рудничной атмосферы, благодаря чему высокие свойства горных пород остаются неизменными во все время эксплуатации выработки.

Штанги также образуют систему "крепь-порода", прочность которой довольно высока. Укрепленный штангами слой пород подвешивается к ненарушенным породам основной кровли, которая также вовлекается в работу по поддержанию выработок.

Набрызг-бетонная и штанговая крепи нашли широкое применение для крепления выработок, проходимых в широком диапазоне горно-геологических условий. Так, набрызг-бетонную крепь самостоятельно или в сочетании со штангами применяют для крепления горизонтальных горных выработок, пройденных в породах крепостью 4 и выше, капитальных камер в породах средней и высокой крепости сечением до 70 м^2 и даже кровли очистных камер при разработке месторождений камерно-столбовой системой. Однако эту, уже широко распространенную крепь, нельзя считать универсальной. Она пока не находит применения в сложных горногеологических условиях, когда в выработках сразу же после их проведения возникает значительное по величине горное давление. Плохо работает набрызг-бетонная крепь и в условиях, когда на выработки непосредственно воздействуют очистные и взрывные работы (как правило, в таких условиях набрызг-бетонная крепь в той или иной степени деформируется, в ней появляются трещины, сколы; иногда она разрушается полностью).

Лучшими условиями применения штанговой крепи считаются выработки со значительным сроком службы, пройденные по крепким слоистым породам, и выработки с ограниченным сроком службы, пройденные по более слабым породам. В других условиях штанговая крепь, совершенно не предохраняющая горные породы от разрушительного воздействия атмосферы, оказывается малоэффективной.

Вторым направлением в области совершенствования способов поддержания горных выработок, развивающимся за последние годы, является использование для крепления новых высокопрочных синтетических материалов, способных существенно повысить несущую способность и расширить область применения традиционных и новых (штанговой и набрызг-бетонной) крепей.

Развитие этого направления шло по пути разработки конструкций поддерживающей крепи, изготовленной полностью из синтетических материалов (стеклопластиковые стойки), а также с включением в известные материалы синтетических смол, например, в качестве вяжущих веществ (пластобетон). Изыскивались средства

повышения надежности набрызг-бетонной крепи, работающей в зоне очистных и взрывных работ, а также способы более надежного закрепления штанг.

Некоторыми научно-исследовательскими институтами СССР разработаны, испытаны и частично внедрены рамные конструкции крепи для горизонтальных выработок на основе пластобетона и гидравлические стойки для очистных забоев угольных шахт, изготавливаемые из стеклопластиков.

Испытания этих крепей показали их хорошие эксплуатационные качества. Легкие высокопрочные конструкции можно будет использовать в качестве временной крепи в выработках, проходимых по слабым и весьма слабым породам. Однако широкому внедрению этих конструкций крепи препятствует высокая стоимость и дефицитность синтетических материалов (смола). Перспективы применения несущих конструкций крепи с использованием синтетических материалов находятся в прямой зависимости от снижения стоимости и увеличения объемов производства синтетических материалов.

Для применения набрызг-бетонных покрытий в выработках, пройденных в слабых и весьма слабых породах и в зоне непосредственного влияния очистных и взрывных работ, изыскивались средства повышения ударной прочности этого материала. Так, было рекомендовано вводить в набрызг-бетонную крепь сечку капроновой щетины. И хотя этот материал не оказался высокоэффективным, он позволил обеспечить надежную эксплуатацию опытных выработок в период отработки блоков.

Повышение ударной прочности набрызг-бетона введением в его состав синтетических добавок (армирующие добавки в виде различных волокнистых материалов; жидкие вещества, способствующие повышению пластичности набрызг-бетона) следует считать наиболее перспективным.

За рубежом в последние годы все более широкое применение находит новый способ закрепления штанг составами, в которых связующим являются различные синтетические смолы. Этот способ не отличается особой сложностью, обеспечивает высокую прочность закрепления в короткие сроки. Затвердевший закрепляющий состав хорошо противостоит сейсмическому воздействию взрывов и истирающему воздействию движущейся руды.

Из-за острой дефицитности и высокой стоимости смол новый способ закрепления штанг в СССР все еще находится на стадии лабораторных испытаний, хотя его перспективность для выработок горизонта вторичного дробления совершенно очевидна.

За рубежом и в СССР широкое применение нашел способ химического укрепления горных пород. Найдено значительное число раз-

личных достаточно эффективных и вездорогих составов. Работы в этом направлении проведены как в лабораторных, так и производственных условиях. Однако они касались в основном использования химических материалов для укрепления малосвязных или сыпучих грунтов и для снижения водопитока в сильнотрещиноватых породах.

Различная проницаемость трещин нарушенных скальных пород затрудняет применение химического способа для укрепления пород на многих рудниках цветной металлургии. Первые опыты по использованию этого способа в подобных условиях показывают, что растворы смол, нагнетаемые в породы через шпурь, распространяются в основном по наиболее крупным трещинам. По мелким же трещинам и трещинам, заполненным глинистым материалом, распространения растворов не происходит. Поэтому в таких условиях химическое укрепление оказывается неэффективным.

Химическое укрепление всех видов горных пород является наиболее эффективным способом поддержания горных выработок. Поэтому автор считает целесообразным разрабатывать методы нагнетания скрепляющих растворов в скальные трещиноватые породы, обеспечивающие тщательное заполнение или пропитку всех трещин независимо от их размеров и направления.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетон. М., "Стройиздат", 1967.
2. Сапунов А.А., Шапиро А.И. Пластбетон и сталепластбетон для шахтной крепи. "Проектирование и строительство угольных предприятий", 1961, № 1.
3. Егоров Н.К. Новый полимерный конструкционный материал для шахтной крепи. М., "Недра", 1967.
4. Романенков И.Г. Влияние влажностных факторов на ползучесть стеклопластиков. "Пластические массы", 1963, № 7.
5. Bonding with plastic to control rock fractures in mines. "Colliery Guardian", v.210, 1965, N 5436, p.845.
6. Давыдов С.С., Чебаненко А.И., Сапунов А.А., Жиров А.С. Исследование работы сталепластбетонных элементов шахтной крепи на изгиб. Сб.ст. "Механизация горнопроходческих работ". М., "Недра", 1967.
7. Сапунов А.А. Опытное крепление горизонтальных выработок сталепластбетонной крепью. М., "ЦНИИподземшахтострой", 1963.
8. Огинский Е.С. Результаты опытной эксплуатации облегченной крепи из сталепластбетонных элементов на шахтах Луганской области. "Механизация горнопроходческих работ", М., "ЦНИИподземшахтострой", 1967, вып.5.
9. Давыдов С.С., Чебаненко А.И., Жиров А.С., Шапиро А.И., Огинский Е.С. Рамная крепь подземных выработок из сталепластбетона на керамзите. "Шахтное строительство", 1969, № 9.
10. Будников П.П., Слободяник И.Я., Пащенко А.А., Сербия В.П. Цементный камень, армированный стекловолокном. "Строительные материалы", 1966, № 4.
11. Маркензон Э.И. Асфальтобетон как материал для крепления горных выработок. Сб.ст. "Физика и технология разработки недр". М.-Л. "Наука", 1965.
12. Какулиа Г.П., Мучник П.И., Нартова Ч.И. Пластмассы для комбинированной крепи стволов калийных рудников. "Шахтное строительство", 1964, № 4.

13. Шапиро А.И. Опытное крепление шахтных стволов калийных рудников пластобетоном. "Шахтное строительство", 1967, № 4.
14. Крупин Н.Н., Пепков М.И. Новые материалы для шахтной крепи. "Проектирование и строительство угольных предприятий", 1967, № 3.
15. Иванченко Г.Е., Алтаев Ш.А., Литвинский Д.М., Сирин Г.Е., Сулеев Э.А. Крепи из армированных пластмасс для очистных забоев шахт Карагандинского бассейна. "Вопросы технологии в горной промышленности". Вып. 25., М., "Недра", 1969.
16. Шахтная крепь из высокопрочных стеклопластиков. М., Институт горного дела им. А.А.Скочинского, 1962.
17. Bauerschäfer N. Versuche mit glasfaserverstärkten Stempeln aus Plastwerkstoffen im Kupferschieferbergbau. "Bergbautechnik", 1961, N 7.
18. Воронин В.С. Упроченный набрызг-бетон - новый материал рудничной крепи. "Горный журнал", 1969, № 2.
19. Юрьев А.Г., Трегубов А.Н. Применение твердых уретановых пен в горном деле. "Горный журнал", 1967, № 7.
20. Протопопов Д.Д., Шишов В.М. Применение полиуретановых пенопластов на рудниках. М., "Цветметинформация", 1964.
21. Chemical can stabilise rock face. "Mining equipment", v.17, 1966, N 3.
22. Use of Resins in mine roof support. "Mining Engineering", 1964, N 1, p.36-40.
23. Cyanamid Engineering chemicals Rok-Lok Applications. Case histories. TM American Cyanamid Company.
24. Resin grouting for rock support. "Canadian Mining Journal", 1965, N 7.
25. Технология и механизация подземной добычи руд цветных металлов за рубежом. М., "Цветметинформация", 1969.
26. Евикеев А.Н. Установка штанговой крепи на синтетической смоле. Бюллетень ЦИИИЧермет ; 1968, № I (578).
27. Nouvelle presentation en cartouche de charges destines a la fixation de boulons d'ancrage, "Explosifs Industriels". Французский патент № I434308 (класс F16B).Опубл.28.02.66.
28. Martin zur Herstellung von tragende Schichten Stützmauern od. dgl mit dem dahinter anstehenden Gestein verbindenden Ankeren. Австрийский патент № 23632I (класс 5c,II).
29. Schuerman F., Novotny R. Verfahren zum Befestigen von Ankerstangen in Bohrlöchern. Патент ФРГ № I205038 (кл. E2Id).
30. Rock anchorage system. "Mining Journal", N 69I2.

31. Bauer. Injektionzugverankerung in Erdreich und Verfahren zu deren Herstellung. Австрийский патент № 269002. Класс 84.II (Eo2). Заявлен 3.01.66. Опубликовано 10.03.69.
32. Schuermann F., Novotny R. Verfahren zur Befestigung von Ankerstangen in Bohrlöchern. Патент ФРГ № I205038 (кл. E2I).
33. Lean D.Ch. Valved rock bolt. American Cyanamid Co. Патент США № 3324662 (класс 6I-3I). Заявл. 21.10.63. Оpub. 13.06.67.
34. Nouvelles cartouches pour dispositifs d'ancrage de boulons. Французский патент № I525303. (класс E2Id). Заявл. 5.IV.67.
35. Сасаки и др. Фундаментальное исследование способа закрепления штанг штанговой крепи с помощью эпоксидных смол (на японском яз.). Журнал "Сайко то хоан".
36. Tincelin E., Sinou P., Leonet O., Frioux J. Essais systematiques du scellement a la resin polyester. "Bull. Technique chambre syndicale de Mines de Fer de France". 1968, N 93.
37. Гърков К., Лепоев М., Вълков В. Анкерное крепене с термо-реактивни смоли. "Рудодобив и металургия", 1970, № 4.
38. Лепоев М., Гърков К., Вълков В. Применение штангового крепления с терморезактивными смолами на редкометалльных рудниках Народной Республики Болгарии. "Горный журнал", 1970, № 6.
39. Набокин Н.И. Испытание штанг, закрепленных химическим способом. Сб. ст. Коммунарский горнометаллургический институт. Тезисы докладов научной конференции по итогам работы за 1964-65 гг. Техническая секция. Коммунарск, 1966.
40. Вальштейн Г.И., Дик Я.Г., Школяр А.П. Исследование работоспособности распорных звмков штанг из капрона и стекловолокнита АГ-4. Сб. ст. "Вопросы техеологии в горной промышленности". Вып. 25., М., "Недра", 1969.
41. Айруни А.Т., Джимшейлишвили. Применение пластмасс в горной промышленности. М., "Недра", 1967.
42. Пашков Д.Н., Коненко В.М. Применение химических способов укрепления пород за рубежом. "Горный журнал", 1966, № 10.
43. Ершов Н.Н. Химическое укрепление горных пород. М., "Недра", 1965.
44. Procédé de consolidation d'une masse non consolidée ou pratiquement non concolidée (Shell internationale research maatschappij N.V.). Французский патент № 1515462 (класс E02Ib, E2Ib). Опубликовано 10.12.62.
45. Brandt S., Kolling O., Novotny R. Verfahren zu elastischen und order plastischen Verfestigung, Abdichtung und Ausfüllung von aufgelockerten Kohle, Mineral-orden Gesteinforma-tion. Швейцарский патент (класс 5c E2I). Оpubl. 30.XII.66.

46. Давыдов В.В. О применении некоторых смол для укрепления горных пород. "Труды Всесоюзного совещания по освоению месторождений в сложных условиях". М., "Недра", 1964.
47. Milkowski W., Przybyba I., Rauk I. Możliwości zastosowania tworzyw sztucznych w górnictwie. "Przeglad Gorniczy", t. XXIII (LIV), 1967, № 2 (823).
48. Канивец А.П. Применение синтетических смол для упрочнения пород вокруг горных выработок. Сб.ст. "Вопросы совершенствования систем разработки с понижением уровня горных работ". Кривой Рог, "НИДРИ", 1968.
49. Nauford D.R., Sadie A. Sealing calcareous porous formations. Патент США № 3176765 (класс 166-33), опубликован 6.IV.65.
50. Roman J., Mc Laughlin H. Method of sealing or consolidation earthen formations. Патент США № 3176471 (класс 61-3b). Опубликовано 6.IV.65.
51. Resin-rebar support. "Metal Mining and Processing", v.6, 1964, № 1.
52. Ершов Н.И. Укрепление пород при проходке горных выработок. "Шахтное строительство", 1959, № 8.
53. Шталь Р., Гросскройтц О.В. Укрепление угля в восстающей выработке, проводимой по крутонадающему пласту, путем нагнетания в него синтетической смолы. "Глюкауф", № 19.
54. David H. Essai de consolidation de terrain par injection de resine. "Publ. techn. carbone France", 1966, № 5.
55. Au E. Erfahrungen beim Addichten eines im Bereich des Turons wasserführenden Schachtes mit Epoxiharz. "Gluckauf", 1963, № 14.
56. Зырянов А.П. Закрепление пород с помощью полимера. "Цветная металлургия", 1960, № 21.
57. Беляев В.Ф., Пястолов А.В., Рубцов В.А., Савин В.Е. Методическое руководство по упрочнению пород цементом, синтетическими смолами и электрохимическим способом. М., "Цветметинформация", 1966.
Ибрагимов М.Н. Устройство противофильтрационной завесы в пещках с помощью карбамидной смолы. Сборник трудов НИИОснований и сооружений ; № 50. "Закрепление грунтов". М., 1962.
59. Шаболтас Б.Б., Давыдов В.В., Корендяев В.В., Митраков В. О применении химических растворов при проходке наклонного ствола. "Шахтное строительство", 1964, № 2.
60. Гончарук П.П., Клименко Ю.Т., Каганович М.З., Лазухин Ю.А., Фатеев Н.Т. Проходка наклонного ствола с применением химического способа укрепления пород. "Шахтное строительство", 1970, № 3.

61. Die Verwendung von Isoschaum im Bergbau unter Tage. "Bergbauwirtschaften", 1967, N 6.
62. Балбачан И.П. Расширение скважин взрывом с одновременным укреплением стенок полимерами. "Шахтное строительство", 1962, № 12.
63. Mayzner-Rulka H. O možnosti zastosowania emulsji asfaltowych do hidroizolacji w budownictwie.
64. Hofbauer I.. Zdolavani. dulnich pozary, Praha, 1960.
65. Sebor J. Pouziti nastrokove izolace asfalt-latexovymi emulzemi v podzemnim stavitelstve. "Inzenirske stably", 1965, № 6.
66. Wenzel K. Neue Modlichkeiten zur wasserdichten Druckstolleneuskleidung. "Schweizerische Bauzeitung, 1963, N 7.
67. Блей С.С., Карась В.А. Битумно-латексные эмульсии для гидроизоляционных покрытий. "Строительные материалы", 1965, № 4.
68. Ефремов В.С. Применение синтетических материалов в горной промышленности за рубежом. М., "ЦНИИТЭИчермет", 1968 (серия 2, информация 7).
69. Kuchlthau K.R., Neil R.M. Rigid foam for ventilation control. Mining Congress Journal.
70. Кара В.В. Первые исследования возможности применения пенополиуретановых покрытий горных выработок на шахте Артем-8 Глубокий в Донбассе. Сб.ст. "Геология и горное дело. Материалы республиканской научно-технической конференции молодых ученых по проблемам развития угольной промышленности УССР". Днепропетровск, 1967.
71. Alston G.L. General use of MSA Regiseal Urethane foam. "Canadian Mining", v.85, 1964, N 7.
72. Пригожин Е.С. Применение пластмассовых пленок для воздухоизоляции горных выработок. "Шахтное строительство", 1962, № 1.
73. Ламба К.Ю., Васильева С.В. Клей для омоноличивания пластобетонных и бетонных конструкций в подземном строительстве. "Шахтное строительство", 1962, № II.
74. Ламба К.Д., Селецкий Л.И. Склеивание бетонных элементов эпоксидно-фурановыми составами. "Шахтное строительство", 1965, № II.
75. Горбаткин Б.И. Гидроизоляция чугунной твбинговой крепи пластмассовыми прокладками. "Проектирование и строительство угольных предприятий", 1968, № 7.

46. Давыдов В.В. О применении некоторых смол для укрепления горных пород. "Труды Всесоюзного совещания по освоению месторождений в сложных условиях". М., "Недра", 1964.
47. Milkowski W., Przybyba I., Rauk I. Możliwości Zastosowania tworzyw sztucznych w górnictwie. "Przeglad Gorniczy", t. XXIII (LIV), 1967, N 2 (823).
48. Канивец А.П. Применение синтетических смол для упрочнения пород вокруг горных выработок. Сб.ст. "Вопросы совершенствования систем разработки с понижением уровня горных работ". Кривой Рог, "НИГРИ", 1968.
49. Nauford D.R., Sadie A. Sealing calcareous porous formations. Патент США № 3176765 (класс 166-33), опубликован 6.IV.65.
50. Roman J., Mc Laughlin H. Method of sealing or consolidation earthen formations. Патент США № 3176471 (класс 61-5b). Опубликовано 6.IV.65.
51. Resin-rebar support. "Metal Mining and Processing", v.6, 1964, N 1.
52. Ершов Н.И. Укрепление пород при проходке горных выработок. "Шахтное строительство", 1959, № 8.
53. Шталь Р., Гросскройтц О.В. Укрепление угля в восстающей выработке, проводимой по крутопадающему пласту, путем нагнетания в него синтетической смолы. "Глюкауф", № 19.
54. David H. Essai de consolidation de terrain par injection de resine. "Publ. techn. carbone France", 1966, N 5.
55. Au E. Erfahrungen beim Addichten eines im Bereich des Turons wasserführenden Schachtes mit Epoxiharz. "Gluckauf", 1963, N 14.
56. Зырянов А.П. Закрепление пород с помощью полимера. "Цветная металлургия", 1960, № 21.
57. Беляев В.Ф., Пястолов А.В., Рубцов В.А., Савин В.Е. Методическое руководство по упрочнению пород цементом, синтетическими смолами и электрохимическим способом. М., "Цветмет-информация", 1966.
Ибрагимов М.Н. Устройство противодиффузионной завесы в пещках с помощью карбамидной смолы. Сборник трудов НИИ оснований и сооружений, № 50. "Закрепление грунтов". М., 1962.
59. Шаболтас Б.Б., Давыдов В.В., Корендяев В.В., Митраков В. О применении химических растворов при проходке наклонного ствола. "Шахтное строительство", 1964, № 2.
60. Гончарук П.П., Клименко Ю.Т., Каганович М.З., Лазухин Ю.А., Фатеев Н.Т. Проходка наклонного ствола с применением химического способа укрепления пород. "Шахтное строительство", 1970, № 3.

61. Die Verwendung von Isoschaum im Bergbau unter Tage. "Bergbauwirtschaften", 1967, N 6.
62. Болбачан И.П. Расширение скважин взрывом с одновременным укреплением стенок полимерами. "Шахтное строительство", 1962, № 12.
63. Maýzner-Rulka H. O možnosti zastosowania emulsji asfaltowych do hidroizolacji w budownictwie.
64. Hofbauer I. Zdolavani dulnich pozary, Praha, 1960.
65. Sebor J. Pouziti nastrokove izolace asfalt-latexovymi emulzemi v podzemnim stavitelstve. "Inženirske stably", 1965, № 6.
66. Wenzel K. Neue Modlichkeiten zur wasserdichten Druckstolleneuskleidung. "Schweizerische Bauzeitung, 1953, N 7.
67. Блей С.С., Карась В.А. Битумно-латексные эмульсии для гидроизоляционных покрытий. "Строительные материалы", 1965, № 4.
68. Ефремов В.С. Применение синтетических материалов в горной промышленности за рубежом. М., "ЦНИИТЭИчермет", 1968 (серия 2, информация 7).
69. Kuchlthau K.R., Neil R.M. Rigid foam for ventilation control. Mining Congress Journal.
70. Кара В.В. Первые исследования возможности применения пенополиуретановых покрытий горных выработок на шахте Артем-В Глубокий в Донбассе. Сб.ст. "Геология и горное дело. Материалы республиканской научно-технической конференции молодых ученых по проблемам развития угольной промышленности УССР". Днепропетровск, 1967.
71. Alston G.L. General use of MSA Regiseal Urethane foam. "Canadian Mining", v.85, 1964, N 7.
72. Пригожин Е.С. Применение пластмассовых пленок для воздухоизоляции горных выработок. "Шахтное строительство", 1962, № 1.
73. Ламба К.Ю., Васильева С.В. Клей для омоноличивания пластобетонных и бетонных конструкций в подземном строительстве. "Шахтное строительство", 1962, № II.
74. Ламба К.Д., Селецкий Л.И. Склеивание бетонных элементов эпоксидно-фурановыми составами. "Шахтное строительство", 1965, № II.
75. Горбаткин Б.И. Гидроизоляция чугунной тубинговой крепи пластмассовыми прокладками. "Проектирование и строительство угольных предприятий", 1968, № 7.

76. Мельников Е.А. Изоляция вентиляционной перемычки в шахтном стволе мастикой из эпоксидной и каменноугольной смол. "Горнорудная промышленность", "Экспресс-информация", 1965, № 25.
 77. Tough tunnel bores to chemical grouting. "Engineering news-record", v.1968, 1962, N 13, p.32-34.
 78. Павасенко Г.А. Применение пластмассовых пленок в качестве противofiltrационных покрытий. "Гидротехническое строительство", 1967, № 1.
 79. Harbusch J. Kunststoffe in Bergbau. "Bergfreiheit", 1966, № 5.
 80. Кулеев М.Т. Опыт закрепления лесовидных грунтов водными растворами карбамидной смолы в полевых условиях. Сборник трудов НИИ оснований и подземных сооружений, № 50. "Закрепление грунтов", М., 1962.
-

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Создание поддерживающей крепи с применением синтетических материалов.....	3
Материалы для создания пластобетонов и стеклобетонов.....	3
Конструкция поддерживающей крепи из пластобетона...	12
Изоляционные покрытия с использованием синтетических материалов как средство поддержания горных выработок.....	26
Материалы для создания покрытий.....	26
Применение синтетических см л для закрепления штанг в шпурах.....	33
Укрепление горных пород химическими материалами.....	57
Технология укрепления.....	57
Укрепление скальных сильнотрещиноватых пород.....	57
Укрепление рыхлых грунтов.....	67
Изоляционные покрытия из синтетических материалов.....	70
Гидроизоляция.....	70
Воздухоизоляция.....	73
Применение синтетических материалов в прочих случаях.....	77
Заключение.....	81
Литература.....	85

Редактор А.М.Цыбин

Технический редактор И.А.Соколова

Корректор Т.И.Ропанова

Подписано в печать 15/IX 1971 г.

Формат 60x90 1/16 Объем 5,75 п.л. 5,3 уч.-изд.л. Исп. № 4423

Т - 15818

Тираж 650 экз.

Цена 53 коп.

Заказ 628

Институт "Цветметинформация"