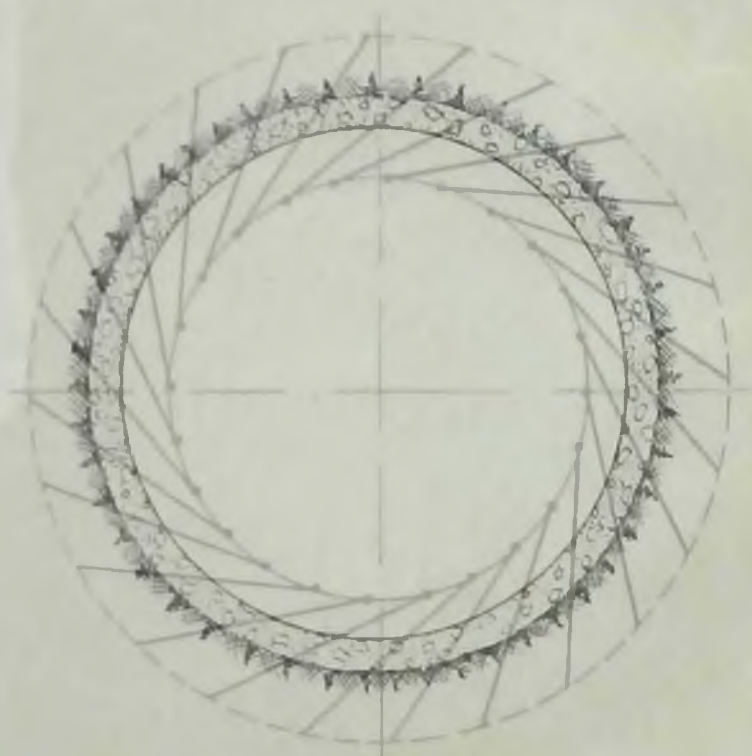


ЦЕМЕНТАЦІЯ ПОРОД ПРИ ГОРУЖЕННІ СТВОЛОМ ШАХТ.



436
6.99.25

1003
621-15
438

ЦЕМЕНТАЦИЯ
ПОРОД
ПРИ СООРУЖЕНИИ
СТВОЛОВ ШАХТ

26352



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»

Москва 1973

Цементация пород при сооружении стволов шахт. М., «Недра», 1973. 128 с. Авт.: П. П. Гончарук, А. А. Гуль, Ю. Т. Клименко, Я. Л. Клыков, М. З. Каганович, Н. Т. Логачев, Д. П. Трофимов.

В книге описан опыт борьбы с притоками воды, накопленный густом Кривбасе шахтопроходки при сооружении шахтных стволов, с помощью предварительной цементации водоносных пород. По данным практики сделаны выводы и рекомендации, позволяющие выбрать способ тампонирувания и организацию работ, отвечающие современному уровню техники в этой области. Приведен обобщенный анализ тампонажных растворов, технических средств бурения скважин и нагнетания растворов, конструкций и способов возведения тампонажных подушек. Даны рекомендации по наиболее эффективному использованию современных технических средств для тампонажных работ.

Книга может служить руководством при выборе способа водоподавления и при разработке проектов тампонирувания горных пород. Она рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся составлением проектов и производством работ по цементации горных пород.

Таблиц 32, иллюстрации 72, список литературы — 47 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

При сооружении шахтных стволов притоки воды в них отрицательно сказываются на сроках и стоимости строительства шахт. Так, при притоках воды в забой $80-100 \text{ м}^3/\text{ч}$ средняя скорость проходки стволов не превышает $7-8 \text{ м/мес}$, а стоимость их сооружения возрастает в $4-5$ раз. Даже при сравнительно небольших притоках воды, например при $20 \text{ м}^3/\text{ч}$, стоимость сооружения 1 м ствола возрастает на 30% , существенно сокращается производительность труда проходчиков, скорость подвигания забоя снижается в $1,5-2$ раза.

Кроме того, в обводненных стволах создаются неблагоприятные санитарно-гигиенические условия, способствующие возникновению среди рабочих простудных заболеваний; эксплуатация обводненных стволов затруднена из-за обмерзания в зимнее время и сильного увлажнения подаваемого в шахту воздуха; необходимы значительные затраты на откачку воды, поступающей в ствол во все время эксплуатации шахты, а также дополнительные средства на обработку полезного ископаемого в связи с увлажнением его при подъеме по обводненному стволу и т. п.

Проблема осушения шахтных стволов, таким образом, имеет весьма актуальное значение.

Несвоевременное внимание к этой проблеме привело к тому, что, например, в Донбассе в $1961-1962$ гг. 60% эксплуатируемых шахтных стволов имели остаточные притоки воды до $55 \text{ м}^3/\text{ч}$ [1]. Только затраты на водоотлив по этим стволам в оставшийся период службы составили $26\,825$ тыс. руб.

В Кривбассе 17 стволов из 26, проделанных в $1957-1967$ гг., имели остаточные притоки воды $6-20 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Как показала практика, наиболее эффективным способом борьбы с водой при сооружении шахтных стволов является предварительная цементация водоносных пород. По сравнению с обычной проходкой с помощью водоотлива цементация позволяет повысить скорость и снизить стоимость сооружения стволов, а также создать нормальные условия для проходки и эксплуатации их.

Например, подсчитано, что при притоке воды в забой $20 \text{ м}^3/\text{ч}$

удорожание проходки 1 м ствола глубиной 500—600 м составляет 270 руб. [2]. Общее удорожание сооружения ствола с учетом затрат на водоотлив во второй период строительства достигает 178,5 тыс. руб. Стоимость цементации 1 м ствола составляет 700—800 руб., а при мощности водоносной зоны, равной 100 м, затраты на цементацию составят 70—80 тыс. руб.

Таким образом, уже во время проходки достигается экономия от применения цементации, не говоря о преимуществах сухих стволов в период эксплуатации.

С помощью предварительной цементации успешно пройден ряд стволов при сложных гидрогеологических условиях в Донбассе, Кузбассе, Кривбассе, на Рудном Алтае и в других районах страны.

В последние годы применение предварительной цементации расширяется. Этому способствуют, в частности, и требования строительных норм и правил (СНиП III. Б-9—69), обязывающие применение предварительной цементации в трещиноватых породах при ожидаемом притоке воды с участка более $8 \text{ м}^3/\text{ч}$ и не допускающие остаточного притока воды в стволы более $5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Вместе с возрастающим опытом цементационных работ формировалась теория цементации. Значительными работами в этой области являются труды проф. Н. Г. Трупака [3], проф. Г. И. Маньковского [11], И. И. Вахрамеева и других ученых.

В процессе развития способа цементации горных пород менялись взгляды на сущность этого метода, совершенствовалась техника, изыскивались новые материалы, что влекло за собой изменение и совершенствование технологии цементационных работ, определялись условия, в которых применение цементации эффективно, затруднительно или невозможно.

Лучшие результаты цементации обеспечиваются в крепких с развитой трещиноватостью породах (гранитах, гнейсах, известняках, песчаниках, сланцах и др.). Осложняющими условиями для цементации являются: наличие многослойной толщи с резко различной структурой или механической прочностью пород разных формаций изверженных и осадочных, зон контактов пород полезного ископаемого и боковых пород; наличие в трещинах глины, ила, песка; наличие в непосредственной близости от трещиноватого массива старых выработок, карстовых пустот и естественных водоемов.

В толкотрещиноватых и тонкопористых породах (отдельные виды песчаников), а также в песках, глинах, илах применение цементации вообще невозможно. Здесь целесообразно применение тампонажа химическими растворами.

Признавая эффективность цементации как способа борьбы с притоками воды в шахтные стволы, следует указать, что и в вопросах технологии, техники и организации работ по производству предварительной цементации имеются еще существенные недостатки, обуславливаемые различными причинами, которые требуют своего решения. В конечном итоге эти недостатки проявля-

ются в том, что не реализуются в должной мере достоинства предварительной цементации.

В табл. 1 приведены некоторые данные по предварительной цементации из забоя на ряде шахтных стволов.

Из данных таблицы следует, что даже при сравнительно тяжелых условиях такой важный показатель, как удельные затраты времени, имеет высокое значение — 1,2 сут/м и более. Например, цементация участка глубиной 39 м в вентиляционном стволе шахты им. С. М. Кирова (Кузбасс) при 8 скважинах заняла 60 сут., а удельные затраты времени составили 1,52 сут/м.

Из-за значительных затрат времени на цементацию скорости проходки стволов с учетом цементации большей частью оказываются низкими — в среднем 8—10 м/мес, что не отвечает современным требованиям и условиям.

Кроме того, значительные затраты времени на цементацию обуславливают повышение стоимости проходки ствола.

Достаточно проанализировать опыт цементации при проходке скипового и клетового стволов шахты № 9/9-бис (Североуральские бокситовые рудники) [9], чтобы увидеть проявление основных недостатков организации и проведения предварительной цементации: «С предварительной цементацией из забоя было пройдено 180 м клетового и 134 м скипового стволов. Расход цемента на 1 м ствола — от 1,5 до 4 т. Средняя скорость проходки обоих стволов с учетом цементации составила 8,5 м/мес. Стоимость сооружения 1 м скипового ствола достигла 3577 руб., клетового — 5395 руб., по сравнению соответственно с 1142,6 и 1702,8 руб. при обычной проходке. Остаточный приток воды после цементации составил 3—8 м³/ч».

Если по результатам подавления притоков воды проведенная цементация является эффективной, то по скорости проходки стволов и стоимости их достигнутые показатели нельзя считать удовлетворительными.

При сравнительно небольшом числе скважин (12—14) и экономном расходе цемента трехкратное удорожание проходки стволов объясняется низкой скоростью проведения цементационных работ, большими потерями времени. Только один сутки простоя ствола приносят убыток в сумме 1000—2000 руб. [10].

Большие потери времени на производство цементации складываются в основном из непроизводительных затрат времени при сооружении тампонажных подушек и бурении цементационных скважин.

Затраты времени на сооружение, твердение и разборку тампонажных подушек обычно составляют 7—10 сут и занимают от 20 до 40% общего времени.

Бурение скважин занимает 50—80% общего времени цементационных работ. Из табл. 1, следует, что для бурения скважин применяли малоэффективные буровые средства — станки типа ГП-1 или колонковые перфораторы КЦМ-1, которые даже в срав-

Показатели	Ствол шахты «Сан-музыкалка» (Мир-Лангунская) (рудишк) [A]	Вентиляционный ствол шахты «Суходолык» (Донбасс) [A]	Вентиляционный ствол шахты на С.М. Кирова (Кузбасс) [B]
Объем тампонажной подушки, м³	90	—	30
Глубина цементационных скважин, м	17	40	38,8
Проектное число скважин	16	8	8
Объем бурения скважин по породе, м	272	320	380
Тип бурового станка	ГП-1	КЦМ-4	ГП-1
Скорость бурения	1—1,2 м/смену	0,6 м/смену	0,85 м/ч
Пересекемая порода			Песчаник
Полное время цементации, сут. . .	240	48	60
Удельное время цементации, сут/м	14	1,2	1,52

Таблица 1

Классификация шахты № 1 «Тимонская» (Донецк) [6]	Ствол № 16 шахты № 5-7 (Кубассе) [6]	Ствол шахты «Тимонская» (Рудная Азия)	За рубежом		
			ствол № 1 шахты «Родес» (Англия) [7]		ствол № 3 шахты «Хаус Адель» (ФРГ) [8]
			1-й учёт	2-й учёт	
—	108	150	—	—	250
15	30	40	25	45	70
8	8	18	24	24	42
115	300	770	1140	1600	2940
КЦМ-4	БА-100	НКР-100	Колонковский перфоратор		P1V/6
0,5 м/ч	—	75 м/сут	152—183 м/смену	152—183 м/смену	—
		Порфи-риты	Песчаник		Мергель
24	24	30	105	135	86
1,6	0,8	0,75	4,2	3	1,23

нительно слабых породах Донбасса обеспечивала низкую производительность. Кроме того, в забое обычно применяли один буровой станок и редко два. В результате скорость бурения скважин оказывалась низкой.

Например, в вентиляционном стволе шахты им. С. М. Кирова [5] объем бурения по песчанику составил 380 м, по затвердевшему раствору — 568 м. Буровые работы, производимые одним станком ГП-1, были выполнены за 26 суток. Суточный объем бурения составил в среднем 36 м.

Применение в последние годы буровых станков типа БА-100 и НКР-100 позволило повысить скорость бурения и заметно снизить удельные затраты времени на цементацию (до 0,75 сут/м).

Анализируя зарубежный опыт, можно отметить, что за рубежом за исключением цементационных работ в ЮАР затраты времени на цементацию также значительны. Например, на шахте «Родес» [7] (Англия) два участка глубиной 25 и 45 м с объемом бурения по породе 1140 м и 1600 м (по затвердевшему раствору соответственно 3174 и 1000 м) цементировали 103 и 135 сут. Удельные затраты времени составили 4,2 и 3 сут/м. Хотя для бурения скважин применяли две высокопроизводительные буровые машины суммарной производительностью 152—183 м/смену, общее время цементации оказывалось значительным вследствие ряда технологических недостатков (большой объем разбуривания скважин, продолжительное нагнетание и выдержка и др.).

В стволе № 3 шахты «Хаус Аден» (ФРГ) на участке глубиной 70 м буровые работы в объеме 2940 м и нагнетание раствора заняли 53 сут, что вполне приемлемо [8]. Но затраты времени на тампонажную подушку составили 28 сут, которые распределились следующим образом:

укладка бетонной смеси в подушку	2
твердение бетона	16
цементации дренажного слоя	1
разборка подушки	9

Такие большие затраты времени не оправданы ни технически, ни экономически.

Рассматривая проблему борьбы с притоками воды в шахтные стволы, следует обратить внимание на то, что эффективность этой борьбы зависит также от заблаговременной и точной разведки гидрогеологических условий участков заложения стволов и правильного применения специального способа проходки на стадии проектирования шахты.

Отсутствие или недостаточность сведений о границах водоносных зон нередко вызывает значительные осложнения в работе и даже затопление стволов, откачка воды из которых требует больших затрат, чем бурение разведочных скважин.

Глава I

ЦЕМЕНТАЦИЯ ВОДОНОСНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ ШАХТ В НЕСЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Изложенный в этой главе опыт предварительной цементации относится к условиям проходки стволов шахт в Криворожском бассейне, характеризующемуся благоприятным характером трещиноватости пород и сравнительно невысокими притоками воды.

1. КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КРИВОРОЖСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА

Стратиграфические породы криворожской серии подразделяют на три свиты: нижнюю (аркозо-филлитовую — K_1), среднюю (железную орудную — K_2), верхнюю (сланцевую — K_3) (рис. 1).

В бассейне выделяют воды надкристаллической осадочной толщи кайнозоя и воды кристаллических пород.

В пределах рудных полей действующих шахт все водоносные горизонты надкристаллической осадочной толщи сдвинуты и по существу не имеют значения в обводнении горных выработок.

Воды кристаллических пород делят на три типа: трещинные, пластово-трещинные и пластово-карстовые. По вертикали среди трещинных и пластово-трещинных вод выделяют три гидрохимические зоны: гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные воды со средней минерализацией соответственно 3—5 г/л и 10—12 г/л и 30—60 г/л.

Движение подземных вод по трещинам кристаллических пород обуславливается размером, числом и характером трещин. Наиболее трещиноваты гнейсы и мигматиты саксаганского и пугачевского интрузивных комплексов, менее трещиноваты — граниты.

Условия циркуляции и характер распространения пластово-трещинных вод весьма сложны. Широкое распространение трещин отдельности кливажа и трещин, секущих породы вокруг про-

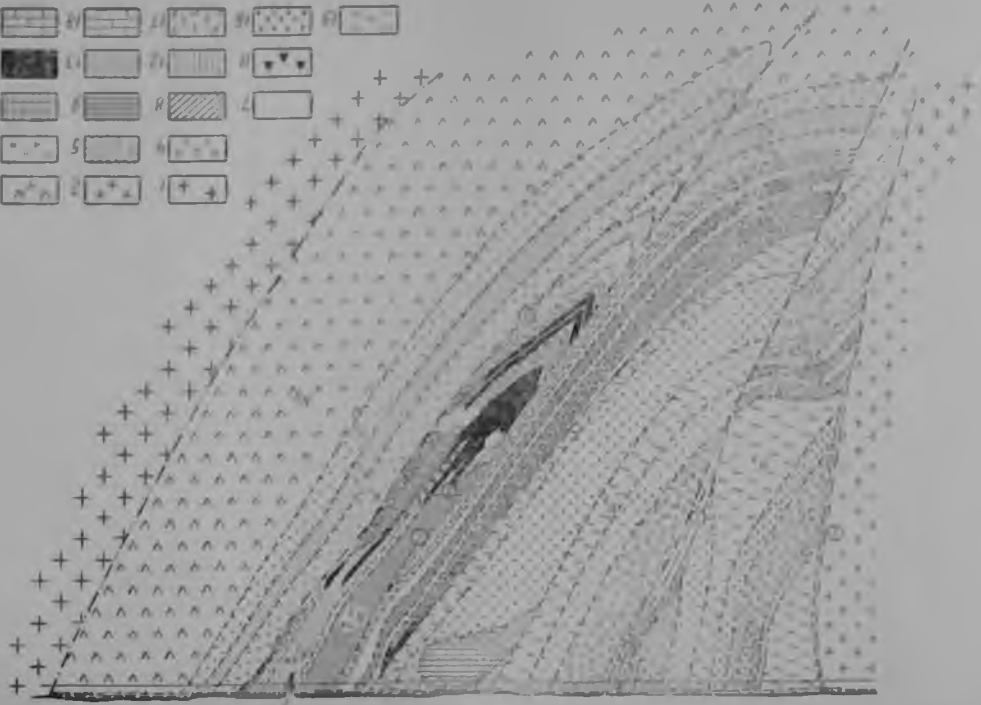


Рис. 1. Геологический разрез Криворожского бассейна

стирания, является обуславливающим фактором взаимосвязи трещинных вод между отдельными водоносными горизонтами.

В Криворожском бассейне в основу гидрогеологической классификации трещиноватости положен генетический принцип. В основе этого выделяются следующие генетические типы трещин: тектонические, диагенетические, карстовые и трещины зоны выветривания.

К тектоническим трещинам относятся трещины разрывов (сбросы и сдвиги). Расположение их в массиве обычно вертикальное или близкое к вертикальному. Они представляют собой щелевидные полости, секущие породы на большие глубины и являются главными артериями подземных вод. При вскрытии таких трещин горными выработками довольно часто наблюдался выброс из них под напором большого количества воды. Процесс дренирования обычно длится два-три года.

Диагенетические трещины связаны с генезисом и составом породы, причем обычно они бывают приурочены к определенному пласту или массиву. Среди них могут быть выделены трещины напластования, трещины охлаждения изверженных пород и трещины высыхания.

Карстовые трещины и различные пустоты развиты среди сравнительно легко растворимых пород и главным образом по контакту с некарстующимися породами. Они встречаются в известняках различного происхождения.

Подземные воды, циркулирующие по трещинам в породах, при вскрытии горными выработками представляют собой большую угрозу. Карстовые воды Криворожского бассейна имеют большие запасы; были зафиксированы случаи резкого увеличения притока воды в горные выработки при вскрытии карстовых полостей.

Трещины зоны выветривания (поверхностные) развиты главным образом там, где кристаллические породы выходят на дневную поверхность или покрыты небольшим слоем рыхлых отложений. Глубина распространения их зависит от литологического состава пород, достигая 60 м.

Водообильность трещин зоны выветривания обычно повышенная, резко колеблется и зависит от их раскрытия и условий питания.

Разнообразные гидрогеологические условия Криворожского бассейна обусловили необходимость применения различных способов осушения шахтных стволов.

В кристаллических водоносных породах с развитой трещиноватостью (гнейсах, гранитах, мигматитах, амфиболитах, аркозах, филлитах и др.) при проходке стволов, по которым вскрывались притоки воды, достигавшие 50 м³/ч, эффективно применяют предварительную цементацию.

В облюбленных песках третичных отложений получает успешное применение способ химического уплотнения и закрепления пород.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ПОРОД ИЗ ЗАБОЯ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛА ШАХТЫ «СЕВЕРНАЯ-ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ» РУДНИКА ИМ. КОМИНТЕРНА

Разрез по стволу шахты диаметром в свету 6,5 м и проектной глубиной 762 м представлен чередующимися пластами филлитов, аркозов и амфиболитов, залегающих под углом 45—50° к горизонту.

К трещиноватым филлитам в интервале глубины 3,5—4,5 м приурочен первый водоносный горизонт с ожидаемым притоком воды 35 м³/ч. Второй водоносный горизонт с притоком до 40 м³/ч был приурочен к аркозам на глубине 45—170 м.

В процессе проходки ствола приток воды вскрыли на глубине 14 м. Когда на отметке 16,2 м приток достиг 32 м³/ч, проходку ствола приостановили для проведения цементации из забоя.

Для производства цементации участка I в забое соорудили тампонажную подушку, при цементации последующих участков было решено оставлять защитные целики толщиной 3—3,5 м.

Проектные параметры участка цементации представлены на рис. 2.

Оборудование для бурения цементационных скважин приведено на рис. 3.

Для удобства бурения перфоратор при помощи легкоъемного хомута с ручками подвешивали на лебедку Ч-2, установленную на поверхности и управляемую дистанционно из забоя ствола. С помощью лебедки выполняли спуско-подъемные операции.

Для промывки скважин использовали насос ЗНФ-200/40, а для боковой подачи воды на буровой став насаживали муфту конструкции приведенной на рис. 4.

Применение нового бурового оборудования позволило повысить сменную производительность проходчика по бурению скважин от 2 до 8 м и осуществлять бурение на глубину 16 м.

Началу цементационных работ предшествовали лабораторные исследования цементационных растворов. Растворы готовили на низкоалюминатном портландцементе марки 500 Белгородского завода, как более стойком к сульфатной агрессии. Применение химических добавок не предусматривалось. Полученные результаты лабораторных работ приведены в табл. 2. Этими данными руководствовались в процессе приготовления и нагнетания растворов.

Перед началом цементации каждую скважину тщательно промывали водой, которую подавали по трубе, доведенной до забоя скважины. Устье скважины, оборудованное кондуктором с запорной арматурой, соединяли шлангом высокого давления с насосом ЗНФ-200/40.

Нагнетая в скважину воду в течение 15—20 мин, определялидельное водопоглощение. В скважинах первой очереди, вскрывших приток воды 1—4 м³/ч, водопоглощение составило 40—80 л/мин при давлении 3—10 кгс/см².

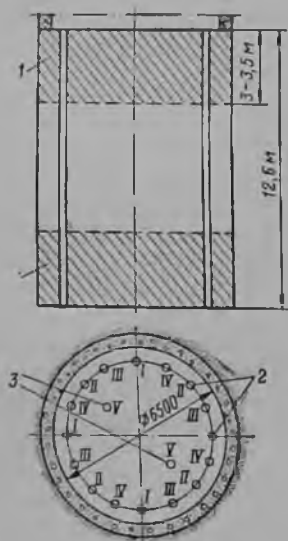


Рис. 2. Проектные параметры участка цементации:

1 — зацементированный породный целик высотой 3,5 м в филитах и 3 м в аркозах предыдущей заходки; 2 — вертикальные рабочие скважины глубиной 12,6 м; 3 — контрольные скважины, 1—V — очередность бурения и нагнетания раствора в скважины; 4 — зацементированный породный целик последующей заходки

вески с ручками; 5 — шланг сжатого воздуха; 6 — муфта для боковой промывки; 7 — высоконапорный шланг подачи воды от насоса 311Ф-200/40; 8 — колонна штанг; 9 — крестовик коронки

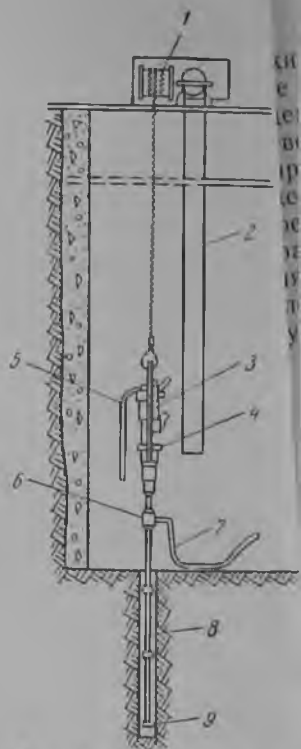


Рис. 3. Оборудование для бурения скважины

1 — лебедка Ч-2, установленная на поверхности; 2 — тросы для разведения лебедкой Ч-2; 3 — перфоратор КС-50; 4 — хомут подвода воды; 5 — шланг сжатого воздуха; 6 — муфта для боковой промывки; 7 — высоконапорный шланг подачи воды от насоса 311Ф-200/40; 8 — колонна штанг; 9 — крестовик коронки

Таблица 2

Состав цементного раствора по весу (Ц:В)	Плотность раствора, г/см ³	Начало схватывания, ч-мин	Конец схватывания, ч-мин	Расход материалов на 1 м ³ раствора		Выход тампонажного камня, %	Объемный вес цементного камня, г/см ³	Выход камня из 1 т цемента, м ³
				цемент, кг	вода, л			
1:0,5	1,82	7—25	9—37	1214	607	95	1,9	0,783
1:1	1,47	8—30	11—40	735	735	64	1,78	0,872
1:2	1,3	19—15	23—10	434	868	38	1,77	0,877
1:3	1,2	23—15	27—15	300	900	27	1,76	0,900
1:4	1,16	26—50	32—55	232	928	21	1,76	0,904
1:5	1,12	30—15	35—00	186	930	17	1,76	0,908
1:6	1,09	30—45	38—25	155	930	14	1,74	0,921
1:7	1,08	31—25	39—55	133	931	12	1,73	0,928
1:8	1,07	32—00	40—30	120	960	11	1,73	0,936
1:9	1,06	33—30	40—50	106	954	10	1,71	0,943
1:10	1,05	36—05	44—00	95	950	9	1,7	0,952

Нагнетание цементного раствора в скважины производили за-
 симным способом. Первоначально в скважину в зависимости от
 ее водопоглощения инъецировали цементный раствор состава
 цемент : вода от 1 : 10 до 1 : 4. После поглощения скважиной рас-
 твора в количестве 4—5 м³ принятого состава его кон-
 центрацию повышали. При резком увеличении давления
 раствор немедленно разбав-
 ляли водой. Через 20—30 ми-
 нут после снижения давления до
 установившегося значения

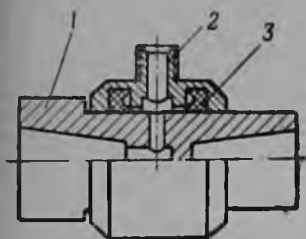


Рис. 4. Муфта для боковой
 подачи воды при промывке
 скважин.

1 — стакан; 2 — корпус, 3 — ре-
 зинное уплотнение



Рис. 5. Расположение скважин по схеме
 «треугольник»

раствор опять сгущали. Таким путем добивались равномерного рос-
 та давления. Нагнетание раствора в скважины прекращали при
 достижении давления 26—37 кгс/см².

Бурение и цементацию скважин выполняли по схеме «тре-
 угольник», приведенной на рис. 5 и обеспечившей хорошее каче-
 ство цементации. Скважины очереди III и IV по этой схеме слу-
 жили одновременно контрольными.

Для успешной ликвидации притока воды в данном случае ока-
 залось достаточно обурить и зацементировать всего 12 скважин
 вместо 16 рабочих и 2 контрольных, как предусматривалось про-
 ектом.

Всего на цементацию трех участков глубиной по 16 м было
 израсходовано 137 т цемента.

Данные о прочности цементного камня из отдельных проб,
 взятых в разных скважинах, приведены в табл. 3.

Остаточный приток воды в ствол после цементации составил
 0,5 м³/ч.

Первый опыт предварительной цементации водоносных пород
 из забоя ствола шахты «Северная-Вентиляционная» позволил
 сделать выводы о технико-экономической целесообразности при-
 менения цементации при проходке шахтных стволов в бассейне:

обеспечивается устойчивая повышенная скорость проходки. По проходческий цикл приобретает ритмичность независимо от геологических условий;

повышается производительность труда рабочих;

Таблица 3

Номер скважины	Состав цементного раствора по весу (Ц:В)	Возраст цементного камня, сут	Предел прочности цементного камня на сжатие, кгс/см ²
2	1:1,6	28	100
3	1:1,16	7	186
3	1:1,16	28	262
9	1:4,2	28	131

снижается стоимость возведения и улучшается качество постоянной крепи из монолитного бетона, а также исключается разрушение бетонной крепи агрессивными водами;

улучшаются санитарно-гигиенические условия труда проходчиков при сооружении ствола;

улучшаются условия эксплуатации ствола и сокращаются затраты на водоотлив в течение всего срока службы шахты.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ПОРОД В СТОЛЕ ШАХТЫ «ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ» № 2 РУДНИКА ИМ. С. М. КИРОВА

Пересекаемые стволом диаметром в свету 6,5 м породы представлены наносами мощностью 8 м, пересланяющимися филлитовыми сланцами с аркозовыми песчаниками — 23,5 м, аркозовыми песчаниками — 8,5 м, филлитами — 3 м, мелкозернистыми песчаниками — 5 м, гранитами — до конечной глубины.

Породы имеют два водоносных горизонта, приуроченные к наносам и скальному массиву с притоками соответственно 10—15 и 15—45 м³/ч.

Условия проходки ствола осложнялись близким расположением его от р. Саксагань и, следовательно, имеющейся гидравлической связью между ними.

На глубине 8,7 м от поверхности при проходке ствола были обнаружены трещины размыва шириной до 1—2 см; удельное водопоглощение окружающих пород — от 0,1 до 1,45 л/мин. Воды обладают сульфатной агрессивностью.

В связи с применением для проходки погрузочного комплекса КС-2у/40 была поставлена задача полного подавления притока воды в ствол, так как наличие подвесного насоса в забое затруднило бы использование комплекса и снизило скорость проходки. Кроме того, необходимо было предусмотреть мероприятия по устранению фильтрации агрессивных вод сквозь бетонную крепь.

Поддавление притоков воды предусматривалось с помощью предварительной цементации пород из забоя. В забое ствола была сооружена бетонная подушка толщиной 2 м с 12 кондукторами, погруженными в породный целик на 0,3 м.

Сильная трещиноватость аркозо-филлитов при первоначальном нагнетании обусловила значительное распространение цементного раствора. Поэтому для ускорения сроков схватывания и повышения выхода тампонажного камня было решено вводить в цементные растворы добавку ОЭС. Добавку ОЭС предварительно измельчали в вибромельнице до порошка с удельной поверхностью 2500—3000 см²/г и перед вводом в цементный раствор ее растворяли в воде.

Цементный раствор, приготовляемый в обычной пропеллерной растворомешалке, подавали в промежуточную емкость, оборудованную устройством для непрерывного перемешивания.

В соответствии с объемом перемешиваемого раствора в промежуточном сосуде вводили порцию растворенной добавки ОЭС, величина которой определялась в зависимости от требуемых сроков схватывания нагнетаемого раствора. Из промежуточной емкости — активатора — готовый раствор выпускали в сосуд при насосном агрегате, из которого его нагнетали в скважины. Свойства применяемого раствора не ухудшались при перемешивании в течении 1,5—2 ч.

Цементацию пород производили по технологической схеме, аналогичной примененной в стволе шахты «Северная-Вентиляционная». По окончании бурения скважины тщательно промывали и определяли удельное водопоглощение. По величине водопоглощения назначали раствор соответствующего состава.

Для бурения скважин использовали два буровых станка НКР-100 с пневмоударниками П-1-75, которые обеспечивали производительную работу до глубины 30 м.

Число цементационных скважин составляло 12 (рис. 6).

В 1-й заходке скважины бурили на глубину 11 м, во 2-й на 19 м с учетом перебура ранее зацементированного целика, в 3-й и 4-й — соответственно на 27 и 40 м. Величины удельного водопоглощения по всем скважинам изменялись от 0,1 до 1,43 л/мин.



Рис. 6. Схема расположения скважин при цементации пород в стволе шахты «Вентиляционная» № 2

Для нагнетания раствора использовали насосы 3ИФ-200/40.

Ствол был зацементирован до глубины 86,5 м. Работы по цементации длились 45 сут. При этом было израсходовано 40 т цемента. Остаточный приток воды в ствол составил 0,3 м³/ч.

Наблюдение в течение 4 лет и измерение притоков воды в ствол подтвердили полную водонепроницаемость цементного кона, а также его стойкость в условиях сульфатной агрессии шале-ных вод.

4. ЦЕМЕНТАЦИЯ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛА ШАХТЫ № 10 РУДНИКА ИНГУЛЕЦ

Стволом шахты № 10 диаметром в свету 4,5 м на отм. 11,5 вскрывался трещиноватый известняк мощностью 17 м с ожидаемым притоком воды более 40 м³/ч. Коэффициент фильтрации пород составлял 10—12 м/сут.

Для производства работ по цементации в забое возвели тампонажную подушку с 12 кондукторами. Цементационные скважины бурили станком НКР-100. Тампонажный раствор готовили на поверхности и нагнетали с помощью цементировочного агрегата 4ЦА-100.

Для цементации трещиноватых и кавернозных известняков было подобрано несколько составов раствора на основе портландцемента Белгородского завода с добавками ОЭС, жидкого стекла и хлористого кальция. Основные параметры этих составов определили в лабораторных условиях (табл. 4). Применяли

Таблица 4

Состав раствора по весу (Ц:В)	Добавки, % от веса цемента			Выход тампонажного раствора, %	Рас-плыв конуса, см	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности образцов сжатия (кгс/см²) в возрасте	
	ОЭС	жидкое стекло	хлористый кальций			начало	окончание	1 сут	7 сут
1:1	—	—	—	64	25	9—00	10—45	20,6	133
1:1	5	—	—	95	20	1—30	7—30	15,2	100
1:1	7	—	—	100	18	2—00	4—30	9,3	70
1:1	—	3	—	88	21	4—00	5—30	5,2	33
1:1	—	5	—	95	18	3—00	3—45	3,6	19
1:1	—	—	3	70	25	6—20	8—20	49,2	134
1:1	—	—	5	74	25	5—55	7—55	54,2	148

только к данным условиям цементации более эффективными признали состав 1:1 с добавкой жидкого стекла и примесью опилок. В начальный период нагнетания такая смесь заполняла крупные пустоты и образовывала тампон, который препятствовал чрезмерному распространению раствора. При повышении давления

т 30 кгс/см² прекращали подачу раствора с опилками и нагнетали только цементный раствор.

Для цементации известняков было израсходовано 230 т цемента и 80 м³ древесных опилок. На работы по цементации затрачено 27 шестичасовых рабочих смен, в том числе 15 смен непосредственно на нагнетание тампопажного раствора.

Остаточный приток воды в ствол в месте контакта известняков с глинистыми прослоями составил 2 м³/ч.

Вскрытие известняков показало, что цементным камнем были заполнены все трещины в известняке и стенки ствола приобрели монолитный вид.

5. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ВОДОНОСНЫХ ПОРОД ПРИ СООРУЖЕНИИ СТВОЛА ШАХТЫ «КЛЕТЕВАЯ» РУДНИКА ИМ. С. М. КИРОВА

Ствол шахты «Клетевая» диаметром в свету 7,5 м и глубиной 100 м заложен в 60 м восточнее ранее пройденного ствола шахты № 1 им. Артема. Поэтому перед началом работ по проходке имелись достоверные гидрогеологические данные.

Характеристика пересекаемых стволом пород приведена в табл. 5.

Таблица 5

Пересекаемые породы	Коэффициент крепости по шкале проф. М. М. Протодьяконова, f	Интервал глубин залегания, м	Ожидаемый приток воды при вскрытии, м ³ /ч
Песчаный грунт	1—2	0—1	Нет
Слюдистый сланец	5	1—2,5	Нет
Мартито-гидрогематитовые и магнетито-мартитовые роговики и джеспилиты	7—14	2,5—74	25—30
Кварцево-серицит-хлоритовые углистые сланцы с прослоями безрудного роговика	10—11	74—89	30—40
Магнетито-мартитовые роговики, джеспилиты и магнетито-амфиболовые (силикатные) роговики	15	89—174	40—45
Кварцево-серицит-углистые сланцы с прослоями безрудного роговика	10—11	174—230	45—50
Талько-хлорито-карбонатные сланцы, плотные, безводные	7—9	230—258	Водоупор железистой формации

Ожидаемый приток воды в ствол до глубины 230 м составлял 25—50 м³/ч. На отм. 230—258 м залегали водоупорные талько-карбонатные сланцы.

Воды верхней части трещиноватых пород были частично сдвинуты в результате сооружения ствола шахты № 1 им. Артема.

При проходке ствола шахты «Клетевая» приток воды 20 л/с был вскрыт на глубине 34 м, начиная с которой дальнейшую проходку осуществляли с помощью цементации. Так как водонесущая зона по прогнозам представлялась значительной, проектом предусматривалось выполнение предварительной цементации минимальными затратами времени, чтобы обеспечить по возможности более высокую скорость проведения ствола.

Для возведения бетонной подушки подобрали состав быстротвердеющего бетона (соотношение составляющих — цемент : щебень — 1 : 1,32 : 2,46) на основе портландцемента марки 400 с добавкой хлористого кальция в количестве 3—5% от веса цемента. Расход цемента составлял 450 кг/м³, водоцементное отношение — 0,57, осадка конуса — 12—15 см.

Образцы из бетонной смеси имели предел прочности на сжатие 60—80 кгс/см² в односуточном и 140—160 кгс/см² в трехсуточном возрасте. Такая прочность бетона позволила нагружать подушку давлением раствора на вторые или третьи сутки после возведения.

Перед возведением подушки в центре забоя ствола установили металлическую стойку диаметром 150 мм. Между стойкой и стенкой ствола раскрепили в горизонтальном положении колонки буровых станков, устанавливали станки НКР-100, с помощью которых обурили устья скважин диаметром 130 мм на глубину 0,5 м для установки кондукторов.

В устья заливали цементный раствор состава 1 : 0,6 с добавкой жидкого стекла и устанавливали кондукторные трубы с внутренним диаметром несколько больше 105 мм.

Под подвесным насосом укрепляли дренажную трубу диаметром 230 мм, нижняя часть которой была перфорирована. К трубе потом подсоединили всас насоса для откачки воды из дренажной полости.

Щебень для устройства дренажного слоя подавали по бетонному проводу. Выровненный слой щебня покрывали толем. Затем подстилали и укладывали бетонную смесь.

После суточного твердения бетона в дренажный слой через тампонажные трубы нагнетали цементный раствор состава 1 : 0,6 с добавкой 5% хлористого кальция.

Тампонажная подушка на участке 1 цементации имела по расчету общую толщину, равную 3 м, из которых бетонный слой составлял 2 м, дренажный — 1 м. Затраты времени на возведение подушки (с учетом подготовительных работ) составили 3 сут.

Бурение цементационных скважин начинали сразу после окончания тампонажа дренажного слоя.

Проектом предусматривалось бурение 21 скважины по периферии и 1 контрольной скважины в центре ствола. Глубина скважин была принята равной 35 м и оставалась постоянной на всех участках.

Бурение скважин осуществляли двумя станками НКР-100 с пневмоударниками П-1-75 и М-48 коронками диаметром 105 мм.

Скорость бурения в роговиках с $f=7\div 14$ при пневмоударнике 48 составляла 3,3—3,8 м/ч. Бурение одной скважины глубиной 13—18 м занимало 13—18 ч.

По окончании бурения, промывки и испытания двух скважин их одновременно нагнетали раствор. Для цементации применяли цементные растворы состава от 1:4 до 1:1 на основе портланд-цемента марки 400 с добавкой 5% хлористого кальция. Максимальное давление раствора доводили до 100 кгс/см² на манометре.

Узел для приготовления и нагнетания раствора размещался на поверхности (рис. 7). При этом частично использовали одно из постоянных зданий шахты.

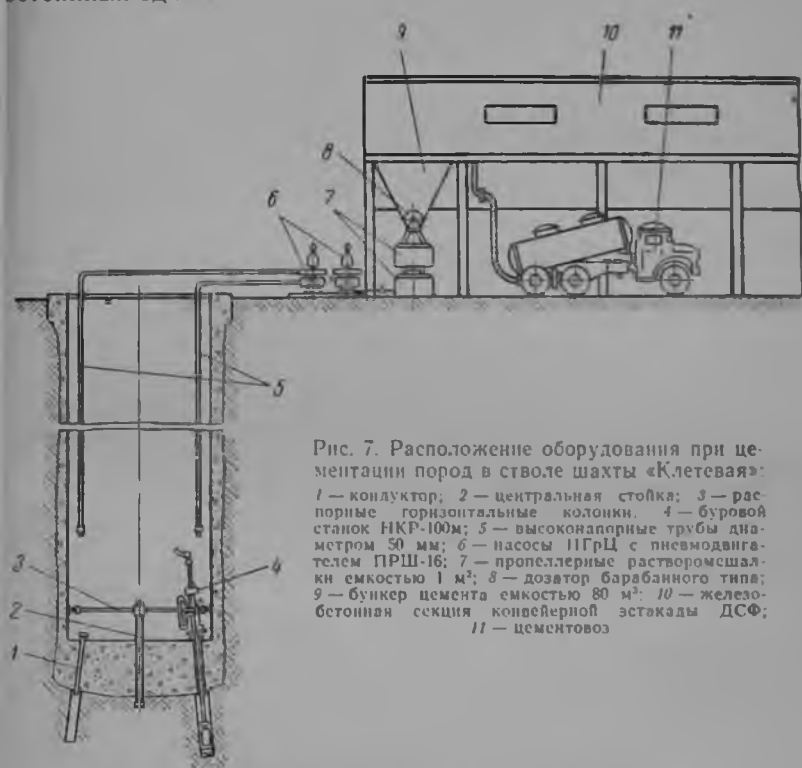


Рис. 7. Расположение оборудования при цементации пород в стволе шахты «Клетевая»:

1 — кондуктор; 2 — центральная стойка; 3 — распорные горизонтальные колонки; 4 — буровой станок НКР-100м; 5 — высоконапорные трубы диаметром 50 мм; 6 — насосы 11ГРЦ с пневмодвигателем ПРШ-16; 7 — пропеллерные растворомешалки емкостью 1 м³; 8 — дозатор барабанного типа; 9 — бункер цемента емкостью 80 м³; 10 — железобетонная секция конвейерной эстакады ДСФ; 11 — цементовоз

Под расходным бункером размещался дозатор цемента барабанного типа, из которого порции цемента по 100 кг поступали в одну из двух пропеллерных растворомешалок емкостью 1 м³.

Воду дозировали с помощью жидкостного счетчика.

Приготовленный раствор выпускали в нижние расходные медалки, куда вводили ускоритель схватывания — раствор хлористого кальция.

Для нагнетания раствора использовали два цементационных насоса 11ГРЦ, оборудованные пневмоприводом. С целью непрерывно-

го приготовления и нагнетания раствора каждый насос обслуживали две растворомешалки. Раствор нагнетали в скважины по двум цементационным ставам, подвешенным в стволе.

Для успешной цементации участка I (отм. 34—69 м) оказалось достаточно 12 скважин вместо 21 по проекту, на что затратили 11 сут. Общее время цементации участка с учетом возведения и разборки подушки составило 12 сут. При проходке ствола по зацементированным породам остаточный приток воды не превышал $1 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На глубине 64 м забоем ствола вскрыли приток воды, достигавший $28 \text{ м}^3/\text{ч}$, и приступили к производству цементации участка II (отм. 64—99 м). Возвели тампонажную подушку толщиной 4,1 м (бетонный слой 2,8 м, дренажный — 1,3 м). Из 21 скважины было обурено и зацементировано 18 скважин, что оказалось вполне достаточно. Общие затраты времени на производство цементационных работ по участку II составили 11 сут. Остаточный приток воды при проходке достигал $3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

С отм. 94 м обурили три разведочные скважины, которые воды не показали. С опережающим разведочным бурением ствол углубляли до отм. 166 м. Приток воды практически отсутствовал.

На глубине 166 м был вскрыт приток воды $12 \text{ м}^3/\text{ч}$. На забой уложили тампонажную подушку толщиной 1,9 м (железобетонный слой 1,1 м, дренажный — 0,8 м). За 7 сут обурили и зацементировали 17 скважин глубиной 35 м.

Полные затраты времени на цементацию участка III составили 10 сут. Приток воды при проходке отсутствовал. При разведочном бурении скважин с отм. 196 м водоносных участков не обнаружили.

Таким образом, с помощью предварительной цементации был пройден водоносная зона мощностью 100 м. Общие затраты времени на производство цементационных работ в стволе шахты «Клетевая» с учетом бурения разведочных скважин составили 38 сут, что соответствует удельному времени цементации $0,38 \text{ сут}/\text{м}$. С точки зрения достигнутой скорости цементации этот результат является хорошим, так как позволил обеспечить скорость проходки ствола с помощью цементации 30—35 м/мес.

Вместе с тем следует отметить, что из-за применения недостаточно эффективных растворов расход цемента оказался довольно высоким и составил в среднем $9,5 \text{ т}$ на 1 м ствола.

6. ТАМПОНАЖ ХИМИЧЕСКИМ РАСТВОРОМ РЫХЛЫХ ВОДОНОСНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ НАКЛОННОГО СТВОЛА

При проходке наклонного ствола Ингулецкого горно-обогатительного комбината были вскрыты водоносные пласты песка прослойками глины.

Возможность цементации песков, как известно, ограничена размерами частиц цемента. Исследования Института по изучению гор

Углого давления и шахтного строительства в Эссене показывают, что для проникания частиц цемента в рыхлые породы, например в песок, их размер должен быть по крайней мере в 5,46 раз меньше, чем размер частиц песка [12]. Так как обычный портландцемент содержит 80% частиц диаметром до 0,09 мм, минимальная величина зерен песка, при которых возможна цементация, должна оставлять 0,5—0,6 мм. Однако опыты показывают, что в действительности размер зерен должен быть 0,8 мм.

По данным исследователей Японии, цементация применима только в такой среде, размер частиц которой в 10 раз больше максимального размера частиц цемента. Так, если максимальный размер частиц цемента равен 90 мк, то таким цементом можно тампонировать песок с диаметром песчинок не менее 0,9 мм.

В Советском Союзе в последние годы проводят широкие исследования по вопросу применения для тампонажа рыхлых пород синтетических смол отечественного производства, которые не содержат твердых частиц и имеют низкую вязкость.

Укрепление и уплотнение водонасыщенных пород синтетическими смолами основано на их способности под действием отвердителей образовывать прочные и водонепроницаемые гелеобразные соединения, которые связывают плавучие и сильно нарушенные породы в плотный массив.

Для тампонажа горных пород наиболее целесообразным является использование карбамидных смол. Растворы на основе карбамидных смол имеют малую вязкость (3—4 спз) и легко регулируемые сроки твердения. Технология приготовления и нагнетания в массив растворов карбамидных смол проста и не требует специального оборудования.

Твердение этих растворов происходит в кислой среде ($\text{pH} < 5$). При содержании в породах карбонатов последние реагируют с кислотами, тем самым нейтрализуя кислую среду. Поэтому при $\text{pH} > 5$ раствор теряет способность отверждаться. Это является недостатком растворов на основе карбамидных смол и сокращает границы их применения.

Содержание карбонатов в тампонируемых породах не должно превышать 3%, содержание глинистых частиц должно быть не более 3%. При наличии карбонатов и глинистых примесей должна производиться предварительная обработка породы раствором кислоты.

Наклонный ствол диаметром 6 м предназначен для транспортирования руды из карьера Нигулецкого горно-обогатительного комбината. Угол наклона ствола составляет 16° . По длине 280 м от поверхности стволом пересекаются неустойчивые обводненные породы, представленные переслаивающимися пластами мелкозернистого песка и глины, склонных к пучению. Притоки воды в ствол из отдельных песчаных пластов достигают 50 м³/ч. Постоянная крепь наклонного ствола в зоне неустойчивых обводненных пород принята из чугунных тубингов. Первоначально проектом предусматри-

валось проведение ствола с применением замораживания пород на двух участках.

С целью сокращения затрат и сроков сооружения наклонного ствола, а также с целью производственного испытания было решено пройти участок обводненных неустойчивых пород в интервале 40—52 м с помощью тампонажа химическими растворами. Приток воды в забой составлял 16 м³/ч. Работы по тампонажу осуществлялись при непосредственном участии института ВНОГЕМ [13].

Геологическая характеристика пород и положение забоя наклонного ствола в интервале химического укрепления представлены на рис. 8.

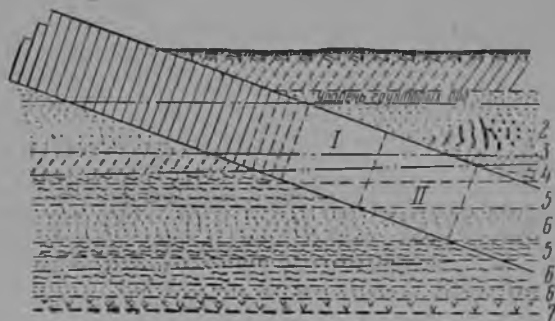


Рис. 8. Геологическая характеристика пород на участке химического укрепления I и II зоны укрепления:

1 — почвенный слой и суглинок; 2 — песок кварцевый, слабоблинистый, мелкозернистый; 3 — суглинок с включениями известняка; 4 — песчано-глинистая порода; 5 — глина плотная; 6 — песок кварцевый, средне- и мелкозернистый; 7 — глина серая, плотная

По гранулометрическому составу пласты песка неоднородны. Согласно данным табл. 6, в песке преобладает содержание частиц размером 0,05—0,1 мм (до 54,2%).

Таблица 6

[Номер пробы]	Гранулометрический состав (в %) при размере частиц, мм								
	песка					пыли		глины	
	2—1	1—0,5	0,5— —0,25	0,25 —0,1	0,1— —0,05	0,05— —0,01	0,01— —0,005	0,005— —0,001	менее 0,001
1	7,72	3,14	10,0	37,1	28,1	4,72	2,16	4,34	2,72
2	2,54	7,86	8,0	18,7	54,2	2,58	1,87	2,64	1,57
3	0,86	13,8	20,1	1,36	50,8	7,13	1,36	0,56	4,02

В песках встречаются пропластки глины, отдельные слои песка содержат до 30% ракушки. Содержание карбонатов достигает 4%, коэффициент фильтрации песков изменяется от 0,53 до

м/сут. Грунтовые воды слабощелочные с $pH=8,8$, максимальный напор $0,8 \text{ кгс/см}^2$. Первый водоносный горизонт залегает на глубине $8,6-12,5 \text{ м}$, мощность его $4-11 \text{ м}$.

На основании гидрогеологических данных и лабораторных исследований были приняты закрепляющие растворы на основе карбидной смолы МФ-17. Возможности применения поставляемых растворов определяли в лабораторных условиях. При этом определяли pH , вязкость по вискозиметру ВЗ-4 и растворимость в воде.

Исследование возможной величины радиуса распространения каждого пласта песка производили на специальной установке, сконструированной в лаборатории водонепроницаемых завес ИОГЕМА.

Давление нагнетания принимали с учетом предотвращения гидроразрыва пласта.

Как показали опыты, радиус распространения закрепляющего раствора смолы МФ-17 с соотношением смолы и воды $= 1:1$ при давлении нагнетания 2 кгс/см^2 составлял от $0,3$ до 1 м , в зависимости от гранулометрического состава песков.

Образцы укрепляемых песков были испытаны на прочность при сжатии в 3-суточном возрасте (табл. 7).

Таблица 7

Номер образцов	Предел прочности образцов на сжатие, кгс/см^2								
	Расстояние от точки инъекции, м								
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	8,3	6,3							
2	15,7	10,6	9,9	5,4					
3	23,4	18,0	19,2	18,2	16,9	19,4	15,3	13,8	10,5

По результатам лабораторных исследований приняли закрепляющий раствор на основе смолы МФ-17 и МФ с разбавлением водой $1:1$; отвердитель — щавелевую кислоту в количестве 6% от веса смолы, а для предварительной обработки — 2% -ный раствор кислоты. Расстояние между инъекционными скважинами $0,4-0,9 \text{ м}$, давление раствора при нагнетании $2-4 \text{ кгс/см}^2$.

Технологически намеченную зону инъектирования на глубине $40-52 \text{ м}$ разделили на два участка длиной по 6 м каждый.

Подготовительные работы включали изготовление и монтаж оборудования для инъектирования и герметизацию забоя ствола бетонной перемычкой толщиной $1,2 \text{ м}$, которая предотвращала бы обратный выход раствора в ствол. При сооружении перемычки в последней закрепили кондуктора диаметром 50 мм в соответствии со схемой расположения скважин (рис. 9). После суточного выстаивания за перемычку нагнетали цементный раствор для ликвидации пустот.

На поверхности смонтировали растворный узел (рис. 10), новив две емкости по $0,8 \text{ м}^3$ для приготовления растворов см

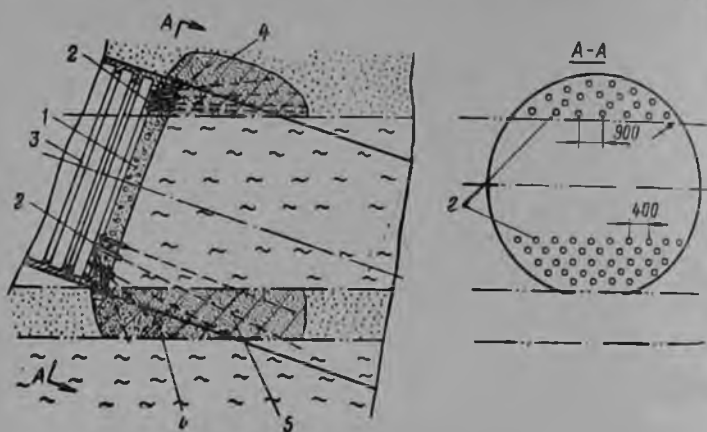


Рис 9. Схема расположения скважин при инъектировании водоносных пород:

1 — тампонажная перемычка; 2 — кондукторные трубы; 3 — тубинговые кольца; 4 — укрепленный массив; 5 — инъекционные скважины

одну емкость на $1,5 \text{ м}^3$ для приготовления отвердителя, а также склад бочек со смолой и тельферную эстакаду.

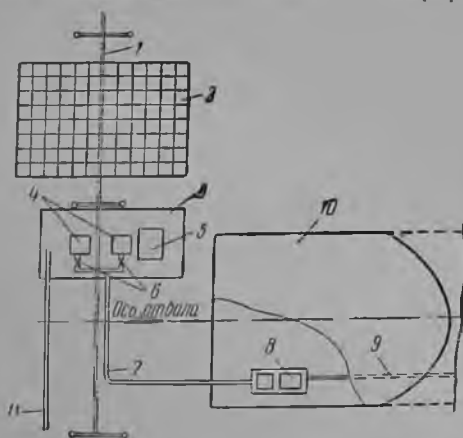


Рис 10. Схема расположения оборудования:

1 — тельферная эстакада; 2 — склад смолы и тары; 3 — деревянный полук; 4 — емкости по $0,8 \text{ м}^3$ для растворов; 5 — емкость $1,5 \text{ м}^3$ для отвердителя; 6 — трехходовые краны; 7 — всасывающий трубопровод; 8 — насос НГР-250/50; 9 — нагнетательный трубопровод; 10 — тубинговая крепь ствола; 11 — водопровод

Каждую емкость обдували трехходовым краном с помощью которого можно было подавать раствор к сосу и сливать воду при промывке. Объем раствора в емкости измеряли мерной рейкой.

Бочки со смолой подвешивали на помост тельферной смолу выливали в емкость после чего разбавляли до соотношения 1:1 6%-ным раствором щавелевой кислоты.

Раствор нагнетали насосом НГР-250/50, установленным в устье ствола. Вся вающий патрубок насос жестко соединялся с емкостью тройниковым распределителем, который позволял при открытии соответствующих

них кранов нагнетать закрепляющие растворы или раствор кислоты для обработки песков. От насоса до забоя был проложен высоконапорный трубопровод диаметром 50 мм, который гибким мангом соединялся с инжектором.

Тампонаж песков осуществляли в следующей последовательности. Через кондуктор бурили пневмосверлом скважину. Буровым инструментом служили витые штанги длиной 3,5 и 8 м, снабженные коронкой. В пробуренную скважину погружали инжектор, изготовленный из труб диаметром 25 мм. Длина перфорированной части инжектора 1 м, отверстия диаметром 3 мм располагались в шахтиом порядке через 100 мм.

Для облегчения досылки инжектора на расчетную глубину и предотвращения засорения перфорированной части при погружении через него прокачивали воду. Устье скважины после досылки инжектора герметизировали с помощью специального салникового устройства в виде резиновых колец толщиной 8 мм, укладываемых в зазор между трубами кондуктора и инжектора. На поверхности готовили расчетные порции раствора кислоты для предварительной обработки пород и закрепляющего раствора смеси.

В приготовленную скважину нагнетали сначала 2%-ный раствор кислоты, затем, без перерыва, закрепляющий раствор смолы.

Бурение и инъецирование скважины осуществляли заходками, равными длине перфорированной части инжектора, которая первоначально составляла 1 м, затем ее увеличивали до 2 м. Последнее существенно повысило производительность работ. Порядок нагнетания заходок прямой, начиная от забоя. Вначале нагнетали растворы в нечетные скважины, затем — в четные. После тампонажа всех скважин на принятую длину заходки каждую скважину перебуривали и производили инъецицию в следующую заходку. По скважинам, где наблюдался вынос песка при бурении, работы вели с максимальной интенсивностью.

Работы по тампонажу второго участка были организованы лучше и выполнены в течение 25 рабочих смен. Сменная бригада состояла из 4 человек.

Для укрепления пород было пробурено 206 м скважин диаметром 41 мм, израсходовано 18,8 м³ обрабатывающего и 34,9 м³ закрепляющего растворов. Вследствие высокой стоимости щавелевой кислоты, во втором участке для обработки был использован 3%-ный раствор соляной кислоты. Давление нагнетания не превышало 3 кгс/см². При инъецировании сильно заглинизированных прослоев песка давление повышалось до 6—8 кгс/см², т. е. в 1,5—2 раза выше предельного давления гидроразрыва пласта, и удерживалось непродолжительное время, после чего снижалось до нормального — 2,5—3 кгс/см². Производительность нагнетания раствора кислоты для предварительной обработки составила в среднем 40 л/мин; закрепляющего раствора — 18 л/мин.

Расчетный объем закрепляющего раствора на одну скважину определяли по формуле

$$V = \frac{\pi d^2}{4} mnl, \text{ м}^3,$$

где d — принятый диаметр распространения раствора, м;
 m — коэффициент заполнения пор, равный 0,8;
 n — объемная пористость, равная 0,33;
 l — длина заходки, м.

Объем раствора для предварительной обработки составлял 60 объема закрепляющего. Расчетный объем закрепляющего раствора на 1 м скважины при радиусе распространения 0,5 м равнялся 176 л. По фактическим результатам работ средний расход составил 172 л.

Сразу по окончании инъецирования участка ликвидировали тонкую перемычку. В период проходческих работ систематически отбирали пробы укрепленных пород, которые испытывали на сжатие (табл. 8) и на фильтрацию. Как видно из таблиц 8, предел прочности на сжатие испытанных образцов песчаных уплотненных раствором смол в естественных условиях заглубления был значительно выше, чем образцов при лабораторных испытаниях. Если в лабораторных условиях предел прочности образцов составлял 5,4—23,4 кгс/см², то в естественных условиях предел прочности достигал 21,5—30,5 кгс/см². Коэффициент фильтрации дельных образцов составил 0,01—0,02 м/сут.

Таблица 8

Порядковый номер серии образцов	Место отбора проб (расстояние от перемишки), м	Предел прочности образцов на сжатие, кгс/см ²
1	0,7	22,7
2	1,5	30,5
3	2,1	26,6
4	3,0	23,1
5	4,5	28,2
6	5,7	21,5

гине (табл. 8) и на фильтрацию. Как видно из таблиц 8, предел прочности на сжатие испытанных образцов песчаных уплотненных раствором смол в естественных условиях заглубления был значительно выше, чем образцов при лабораторных испытаниях. Если в лабораторных условиях предел прочности образцов составлял 5,4—23,4 кгс/см², то в естественных условиях предел пр

ности достигал 21,5—30,5 кгс/см². Коэффициент фильтрации дельных образцов составил 0,01—0,02 м/сут.

Проходку наклонного ствола на глубине 40—52 м после химического укрепления обводненных песков осуществляли без применения защитных мероприятий по поддержанию забоя и стенок ствола. Укрепленные пласты песка имели достаточную устойчивость и представляли собой монолитный массив. В песках с большим содержанием глинистых примесей радиусы распространения растворов составляли 0,2—0,3 м, однако за счет трещин гидроразрывов, заполненных полимерным материалом, эти пласты были достаточно устойчивыми.

Незначительные притоки воды в забой (до 0,02 м³/ч) наблюдались в отдельных местах по контакту укрепленного песка с пластами водоупоров.

Средняя скорость проходки ствола с учетом затрат времени на химическое укрепление пород составила 0,7 м/сут. Следует отметить, что при должном освоении технологии и оборудования

производству работ с применением тампонажа химическими растворами можно достигнуть большей скорости проходки ствола. Стоимость укрепления 1 м ствола составила 1,3—1,5 тыс. руб. по средним расходам.

На основе проведенного опыта трестом Кривбассшахтопромпрома и ВПОГЕМом намечена программа работ по дальнейшему совершенствованию способа химического тампонажа и разработке оптимального оборудования.

Применение этого способа при проходке наклонного ствола позволило увеличить скорость проходки в 1,7 раза и снизить затраты в 2 раза по сравнению со способом замораживания пород.

Глава II

ЦЕМЕНТАЦИЯ ВОДОНОСНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛОВ ШАХТ В СЛОЖНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В каждом из рассмотренных ниже случаев шахтными стволами вскрывались участки пород, отличающиеся своими горно-геологическими условиями.

Однако их общей чертой являлась значительная обводненность обуславливаемая или большой мощностью водоносных пород, или сильно развитой трещиноватостью, или тем и другим вместе.

В этих условиях необходимо выполнение ряда дополнительных организационно-технических мероприятий, обеспечивающих высокое качество цементационных работ и высокую скорость проведения их.

Ниже изложен опыт цементации для наиболее характерных случаев значительной обводненности, организационно-технические решения, принятые в зависимости от этих условий, и достигнутые показатели работ.

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ПОРОД ПРИ ПРОХОДКЕ СТОЛА ШАХТЫ «ЮЖНАЯ»

Стволом шахты «Южная» диаметром в свету 7 м и глубиной 374 м пересекались обводненные трещиноватые граниты и биотитовые гнейсы (рис. 11).

Для гидрогеологического исследования участка по оси ствола была пробурена скважина с отбором керна. Изучение полученного керна и зон потерь промывочной жидкости, а также опытные откачки воды из скважины позволили установить общую водоносную зону в интервале глубин 20,7—374 м. Ожидаемый приток воды в ствол составлял 83,2 м³/ч.

Проходка ствола в указанной водоносной зоне осуществлялась с помощью предварительной цементации из забоя. Хотя мощность водоносной зоны была значительной, гидрогеологические условия

характер трещиноватости оказались благоприятными. Поэтому цементационные работы осуществлялись достаточно легко и эффективно.

Для приготовления и нагнетания цементационного раствора применяли оборудование (рис. 12), разработанное трестом Кривбассшахтопроходка и Криворожским филиалом ВНИИОМШСа и включавшее следующие основные узлы:

расходную емкость на 18 т цемента, оборудованную ковшевым элеватором (для подачи цемента при доставке его автосамосвалами) и загрузочной трубой (для подачи цемента при доставке цементовозом);

дозировочный шнек для цемента и дозировочные емкости для химических добавок;

две пары пропеллерных растворомешалок емкостью по 0,8 м³ каждая;

два цементационных насоса типа 11ГрЦ, оборудованных пневмоприводом.

Нагнетание раствора осуществляли с поверхности по двум высоконапорным трубопроводам диаметром 33 мм, подвешенным в стволе.

При цементации участка I на глубине 20 м в забое ствола по окружности диаметром 6 м установили 18 кондукторов с радиальным накло-

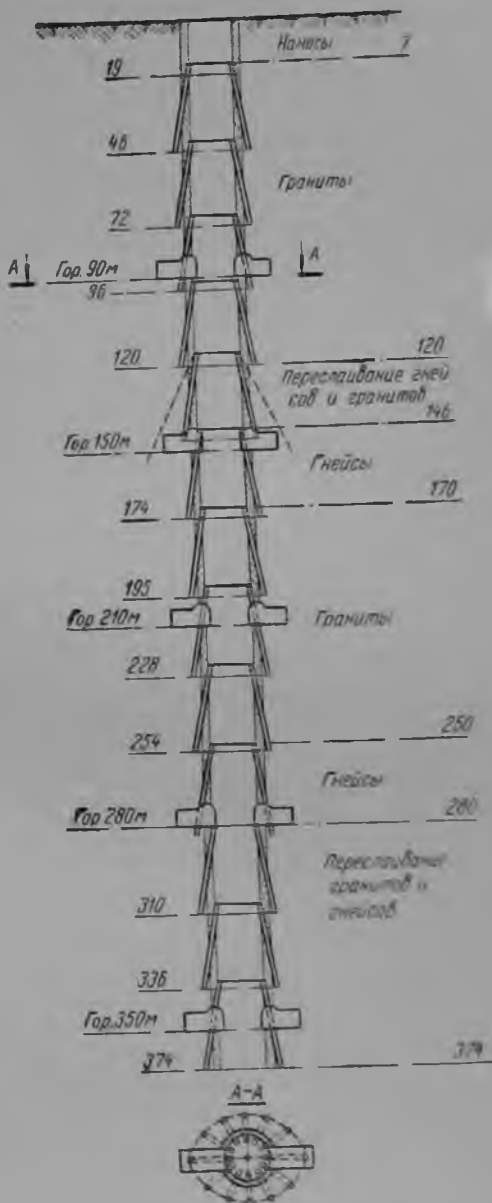


Рис 11. Разрез по сволу шахты «Южная» с участками цементации

ном из расчета выпуска скважин за контур ствола на 2—2,5 м. Нecessность наклона скважин обуславливалась наличием вертикальных трещин.

Тампонажную подушку толщиной 1,5 м уложили без дренажного слоя (водоносный горизонт не был вскрыт). Далее приступили к бурению цементационных скважин.



Рис. 12. Схема расположения оборудования при цементации в стволе шахты «Южная»:
 1 — приспособление («карусель») для крепления буровых станков; 2 — буровой станок НКР-100; 3 — высоконапорные стволы цементации; 4 — цементационные насосы 11ГрБ или 11ГрЦ с пневмоприводом; 5 — вертикальные растворомешалки; 6 — емкость дозирования для жидкости; 7 — бункер для цемента; 8 — ковшовый элеватор; 9 — дозирующий шнек; 10 — загрузочная труба для цементовоза; 11 — приемный бункер

Скважины бурили станками НКР-100 с пневмоударниками М-29Т. При наружном диаметре пневмоударника, равном 68 мм, применяли трехперую долотчатую коронку диаметром 85 мм.

Примененное оборудование позволило бурить скважины глубиной 25—35 м со средней скоростью 3—3,5 м/ч. В одновременной работе использовали 2—3 станка.

Скважины бурили сразу до конечной глубины и обычным порядком цементировали. Если вскрывали приток воды 25—30 м³/ч, бурение прекращали и в скважину нагнетали раствор. После затвердевания раствора скважину разбуривали, доводили до конеч-

ной глубины и цементировали окончательно. Общий порядок бурения и цементации скважин соблюдался по схеме «треугольник».

На всех последующих участках цементацию осуществляли без возведения подушек под защитой зацементированных целиков толщиной 3—4 м. Для этого коронкой диаметром 105 мм бурили устья скважин глубиной 2 м, куда на быстротвердеющем растворе устанавливали кондукторные трубы с внешним диаметром 100 мм. Первые несколько скважин бурили через превенторные устройства во избежание внезапного прорыва воды.

Давление воды при замерах в устьях скважин соответствовало гидростатическому, определяемому по положению водоносного горизонта на глубине 20 м. Поэтому давление нагнетаемого раствора с глубиной ствола стало достигать 80—100 кгс/см².

Для нагнетания применяли цементные растворы состава от 1:4 до 1:1 на основе портландцемента марки 400 с добавкой 3—5% хлористого кальция. Всего зацементировали 13 участков при общей мощности водоносных пород 354 м. Остаточный приток воды при проходке ствола был незначительным. Кроме того, зацементировали и прошли рассечки пяти двусторонних околоствольных дворов с выемкой 600 м³ породы из каждого.

Средние затраты времени на цементацию одного участка глубиной 27 м составили 8,5 сут, что соответствует удельному времени цементации 0,32 сут/м.

Максимальная скорость проходки ствола с учетом предварительной цементации достигала 29 м/мес.

Расход цемента на 1 м ствола изменялся, в зависимости от степени трещиноватости, в пределах 5—12,5 т. Такой сравнительно высокий расход цемента объясняется применением цементационных растворов, недостаточно эффективных в отношении выхода камня и сроков схватывания.

2. ЦЕМЕНТАЦИОННЫЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОХОДКЕ СТВОЛА ШАХТЫ ЛУЧЕВОГО ВОДОЗАБОРА

Участок заложения ствола в геологическом отношении представлен аллювиальными отложениями мощностью 5—10 м в виде мелкозернистых песков с небольшими прослоями суглинков. Аллювиальные отложения подстилаются толщей кавернозных и сильно обводненных известняков.

Ожидаемые притоки воды в ствол составляли: в песчаной толще до глубины 7,6 м — более 200 м³/ч; в известняках — более 1000 м³/ч.

Ствол шахты имел круглое сечение диаметром в свету 7,5 м, в проходке 8,3 м. На конечной глубине (16,9 м) предусматривалась железобетонная подушка, служившая основанием для ствола и поверхностных сооружений. Постоянная крепь толщиной 400 мм выполнялась из монолитного бетона, а воротник ствола — из железобетона.

Обводненную неустойчивую толщу песков до известняков было решено пройти под защитой металлической забивной крепи, а дальнейшую проходку по известнякам решили осуществить с помощью цементации, выполняемой с поверхности на полную глубину ствола. При этом необходимо было зацементировать известняки по периферии и в донной части ствола, чтобы устранить фильтрацию вод со дна, создав в зоне 17—20 м водонепроницаемую завесу.

В данном случае цементация осложнялась тем обстоятельством, что в таких кавернозных известняках тампонажный раствор мог

распространиться в большом радиусе и тем самым снизить в будущем эффективность лучевого водозабора. Поэтому требовалось создать вокруг ствола противофильтрационную завесу строго ограниченной толщины.

Металлическое шпунтовое ограждение было решено погрузить до глубины 10,6 м, чтобы пересечь зону выветривания известняков, возможность цементации которой вызывала сомнение.

Цементационные скважины расположили по двум окружностям диаметром 5,2 м для цементации донной части ствола и диаметром 10,4 м для периферийной цементации (рис. 13).

Рис. 13 Схема расположения скважин при цементации в стволе шахты лучевого водозабора

В первой окружности предусматривалось 6 скважин, во второй — 30. Кроме того, на расстоянии 10 м от центра ствола были заложены 4 скважины для наблюдения за распространением тампонажного раствора.

Устья скважин под обсадные трубы диаметром 125 мм бурили на глубину 9,5 м турбобуром. Устья заполняли быстросхватывающимся цементным раствором, затем с помощью вибратора в них погружали обсадные трубы.

Одновременно с выполнением работ по обсадке устьев скважин произвели необходимые подготовительные работы для пробивки шпунтового металлического ограждения.

Для шпунтового ограждения был выбран корытный шпунтовый профиль ШК-1, число шпунтин на замкнутый контур составило 68.

Устье ствола прошли на глубину 1 м, куда затем установили



1,70
а
10-
30-
27-
74
10
два кольцевых металлических шаблона высотой 1 м, изготовленные из швеллера № 30. Эти кольцевые шаблоны предназначались для фиксации и направления шпунтового ограждения при погружении. Внешнее кольцо-шаблон жестко связали с арматурой фундамента устья и забетонировали. Внутреннее направляющее кольцо после строгой горизонтальной центровки жестко раскрепили радиальными упорами. Шпунтины устанавливали в зазор между кольцами.

Для сборки и погружения шпунтового ограждения использовали автомобильный кран грузоподъемностью 10 тс с наращенной стрелой.

Ограждение погружали путем последовательной забивки каждой второй шпунтины на глубину 0,5 м по всему контуру кольца. Забивку шпунтин до глубины 6 м производили с помощью вибропогружателя ВПП-2.

В связи с увеличивающимся сопротивлением и зашламлением замковых соединений мелким песком для дальнейшей работы этот вибропогружатель оказался непригодным из-за недостаточной мощности. Для погружения шпунтового ограждения до конечной глубины использовали паровоздушный молот двойного действия С-231, который в данном случае работал на сжатом воздухе.

В результате тщательной подготовки и проведения работ по забивке шпунтового ограждения величина отклонений не превышала 5 см.

Параллельно с погружением шпунтового ограждения вели подготовительные работы по предварительной цементации известняков. У ствола смонтировали установку для приготовления и нагнетания тампонажного раствора (рис. 14). На расстоянии 30 м от ствола установили башню для цемента емкостью на 20 т. Для подачи цемента из приемного бункера башню оборудовали элеватором ЭЦМ-250. Доставка цемента осуществлялась автосамосвалами и цементовозами, которые разгружались в приемный бункер. Дополнительно на расстоянии 10 м от башни оборудовали хранилище на 50 т цемента. Подача цемента от хранилища к приемному бункеру осуществлялась с помощью ленточного транспортера. Загрузку цемента в лопастную растворемшалку емкостью 1 м³ производили питающим шнеком. Величину порции подаваемого цемента регулировали с помощью установленного реле времени, отключающего в нужный момент двигатель шнека. Добавку ускорителя твердения (жидкого стекла) вводили в растворемшалку после затворения цемента необходимым количеством воды. Перед растворемшалкой возвели деревянный помост, на который установили емкость с жидким стеклом. Жидкое стекло самотеком поступало в измерительный сосуд и из последнего — плавной струей в растворемшалку. Приготовленный цементный раствор выпускали в расходную емкость при насосном агрегате, откуда насосом ЗИФ-200/40 по трубопроводу нагнетали в скважины.

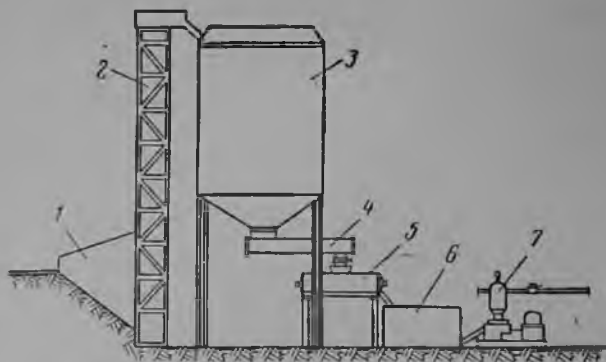


Рис. 14. Схема расположения оборудования для приготовления и нагнетания раствора при цементации в стволе шахты лучевого водозабора:

1 — приемный бункер; 2 — элеватор; 3 — емкость для цемента; 4 — дозировочный шпек; 5 — растворомешалка; 6 — расходная емкость; 7 — цементационный насос

Для приготовления раствора использовали портландцемент марки 600. В основном применяли цементные растворы состава

1:1 или 1:2 с добавками от 1 до 5 % жидкого стекла от веса цемента. В отдельных случаях нагнетали растворы более густой консистенции. Добавки жидкого стекла позволили регулировать сроки схватывания растворов в необходимых технологических пределах.

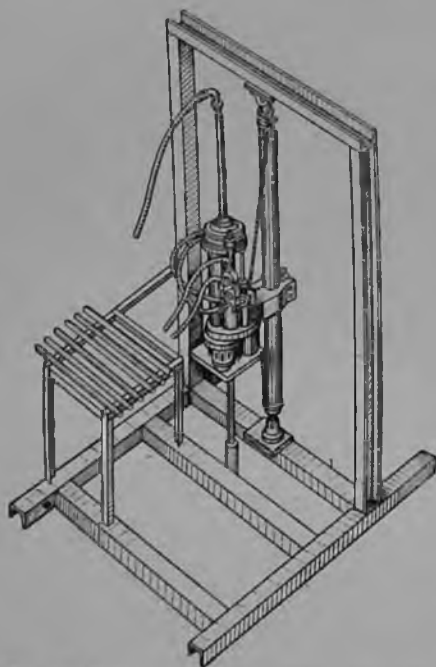


Рис. 15. Рама для установки станка НКР-100м

Бурение скважин производили станком НКР-100 м, установленным на специальной раме (рис. 15). Перестановку станка по скважинам осуществляли автокраном. Станок НКР-100 м работал во вращательном режиме. В качестве бурового инструмента использовали резец типа «рыбий хвост». При разбуривании скважин по цементному камню применяли пневмоударник П-1-75.

В связи с тем, что зону распространения раствора в

условиях сильной трещиноватости известняков необходимо было ограничить, максимальное давление при нагнетании составляло 10 кгс/см². В редких случаях давление раствора доводили до 15 кгс/см².

Зону распространения раствора контролировали с помощью наблюдательных скважин № 38—41. Кроме того, периферийный контур из 30 скважин (порядковые номера 8—37) разделили на четыре заходки бурения и цементации. Величина заходов составляла 2—3,5 м. Внутренний контур скважин (порядковые номера 1—7) цементировали тремя заходками.

При бурении скважин внутреннего контура контролировали качество периферийной цементации.

Фактические объемы работ и расход материалов на цементацию наружного и внутреннего контура скважин приведены в табл. 9. Как следует из этих данных, расход тампонажных материалов на слой известняка толщиной 10 м оказался значительным, что свидетельствовало о его высокой кавернозности.

Таблица 9

Зоны цементации	Глубина от поверхности, м	Объем бурения, м		Расход материалов		
		по породе	по цементному камню	раствор, м ³	цемент, т	жидкое стекло, кг
I	9,8—13,3	105	370	82	53	815
II	13,3—15,8	75	750	88	58	1760
III	15,8—17,8	60	745	91	43	2040
IV	17,8—20	66	675	135	54	4350
Итого наружный контур скважин	9,8—20	306	2740	396	208	8965
I	9,8—14	30	170	16	7	315
II	14—17,5	25	120	10	3	150
III	17,5—20	24	120	22	16	200
Итого внутренний контур скважин	9,8—20	79	410	48	26	665
Всего	9,8—20	385	3150	444	234	9630

Примечание. На 1 м цементации ствола расход материала составил: раствора — 44,4 м³; цемента — 23,4 т; жидкого стекла — 0,96 т.

При цементации известняков третьей заходки наружного контура был зафиксирован случай проникания раствора в наблюдательную скважину № 41. Однако это явление было устранено повышением концентрации раствора и увеличением добавки жидкого стекла. При цементации третьей заходки в ряде скважин давле-

ние доводили только до 5 кгс/см^2 , производя потом разбуривание и повторное нагнетание раствора.

С помощью цементации и возведения шпунтового ограждения достигли полной гидроизоляции ствола, не снизив эффективности действия лучевого водозабора. Выемку породы производили при помощи эстакады, на которой были закреплены грузчики КС-3 (рис. 16).

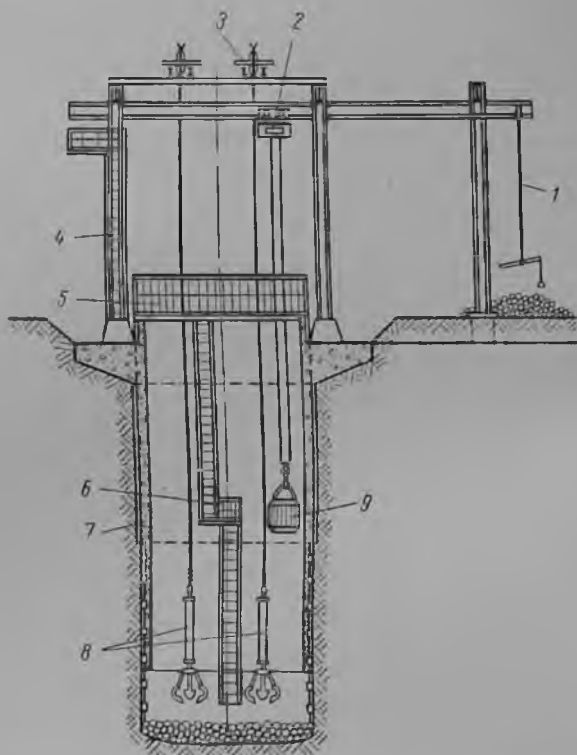


Рис. 16. Расположение оборудования при проходке ствола лучевого водозабора с помощью тельферной эстакады:

1 — приспособление для разгрузки бадьи; 2 — тельфер $Q=5 \text{ т}$; 3 — шкив подвески грузчиков КС-3; 4 — лестница и площадка; 5 — рабочая площадка на уровне устья ствола; 6 — лестничный ход; 7 — шпунт ШК-1; 8 — грузчик КС-3; 9 — бадья емкостью 1 м^3

По мере выемки породы возводили временную крепь из спец-профиля с затяжкой стенок ствола досками.

Бетонную крепь ствола возводили с помощью деревянной опалубки высотой 1 м .

3. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТАЦИОННЫХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ СТВОЛА ШАХТЫ Г-1 В ВНР [14]

Участок заложения ствола сложен песчаниками с коэффициентом крепости по шкале проф. М. М. Протодяконова $f=4\div 10$. Падение пластов песчаника под углом 20° и менее.

Район заложения ствола характеризуется наличием сложных тектонических нарушений. На глубине 520 и 770 м при разведочном бурении были вскрыты два сброса, имеющие падение с севера на юг под углом $15\text{--}20^\circ$. Эти нарушения имели вероятность выхода в северной части под сильно обводненные известняковые толщи (карстовый бассейн). Кроме двух крупных, имелась система мелких геологических нарушений.

При бурении разведочной скважины наблюдались частичные и полные поглощения промывочной жидкости, по всей глубине ее керн показывал трещиноватость, выход керна местами снижался до $20\text{--}30\%$.

По уточненным гидрогеологическим прогнозам приток воды в ствол во время проходки должен составить $300\text{--}400\text{ м}^3/\text{ч}$ с постепенным снижением его во времени до $80\text{--}100\text{ м}^3/\text{ч}$. Фактические гидрогеологические условия оказались более сложными.

Первые два небольших участка со сравнительно невысокими притоками воды были вскрыты на отм. 180 и 205 м. С глубины 252 м и до глубины 627 м прослеживалась сплошная водоносная зона с суммарными притоками воды из скважин, достигавшими $460\text{--}560\text{ м}^3/\text{ч}$. Приток из отдельных скважин диаметром $49\text{--}59\text{ мм}$ достигал $60\text{--}65$ и иногда $100\text{ м}^3/\text{ч}$. Уровень горизонта воды находился на отм. 150—160 м. Осложнение было вызвано тем, что при проходке ствола на глубине 300 м вскрыли ранее неизвестное тектоническое нарушение, представляющее собой пачку сильно раздробленных пород мощностью до 1,5 м. Нарушение, имевшее почти вертикальное направление, сопровождало забой ствола до глубины 430 м. Из самого нарушения воды поступало сравнительно немного ввиду довольно плотного заполнения глиной. Вода поступала из системы вертикальных трещин, которыми была пронизана в основном всякая сторона нарушения.

Кроме вертикальных трещин имелись в меньшем числе трещины и в других направлениях. Ширина трещин была неравномерной и достигала иногда 70 мм.

Трещины были обильно заполнены продуктами разрушения пород — глиной, породной крошкой.

Минерализация шахтной воды оказалась высокой, что затрудняло работу насосов. Поперечное сечение патрубка диаметром 1,5" от забойного насоса после 1 мес работы приведено на рис. 17.

Температура воды была равна $22\text{--}26^\circ\text{C}$.

Ствол шахты Г-1 имеет диаметр в свету 7 м, в проходке — 8 м. Крепь — из монолитного бетона толщиной 0,5 м. Проектная марка бетона — 200.

При проходке ствола применяли проходческий комплекс КС-2у/40 с двумя погружными машинами.

Крепь возводили с помощью забойной подвесной опалубки высотой 4 м. Бетонную смесь для крепления подавали по трубопроводу.

Породу выдавали двумя одноконцевыми подъемными машинами в бадах емкостью 3 м³.

Водоотлив осуществляли по двухступенчатой схеме: из забоя в емкость, расположенную на полке, — с помощью турбонасоса Н-1м; с полка на горизонт штольни вода подавалась подвесным насосом ППН-50.

Для ликвидации притоков воды из трещиноватых водоносных зон был принят способ предварительной цементации из забоя ствола.

С целью достижения необходимой средней скорости проходки ствола с помощью цементации (25—30 м/мес) требовалось обеспечить удельное время цементации 0,3—0,5 сут/м.

Для ликвидации остаточных притоков воды из отдельных трещин применили метод отвода воды через трубки с последующим их тампонажем (рис. 18).

Мероприятия по цементационным работам включали следующее.

При сооружении тампонажных подушек предусматривалось применение специальной рамы-шаблона, с помощью которой облегчалась и ускорялась установка кондукторов и обеспечивалось удобство бурения цементационных скважин. С внешней стороны рамы в соответствии со схемой расположения цементационных скважин были приварены держатели для кондукторов. Держателям задавали необходимый угол наклона. В забой опускали сегменты, которые соединяли в раму и последнюю на крючьях или канатах подвешивали к опалубке с таким расчетом, чтобы она оказалась поверх будущей подушки. В держатели вставляли кондуктора и закрепляли их.

Для более прочного крепления рамы к подушке в поперечные связи ее перед укладкой бетонной смеси вставляли анкерные болты длиной по 0,5 м. После этого укладывали бетонную смесь под основание рамы. По окончании цементации раму демонтировали и выдавали на поверхность для повторного использования.

Для возведения подушек приняли быстротвердеющий бетон, который в трехсуточном возрасте достигал предела прочности на сжатие не менее 150 кгс/см².

Состав подобранной бетонной смеси был следующим:



Рис. 17. Поперечное сечение патрубков с соевыми отложениями

песок	0,312 м ³
гравий 2—6 мм	0,25 м ³
гравий 6—15 мм	0,313 м ³
щебень 20—40 мм	0,375 м ³
портландцемент марки 500	460—480 кг
хлористый кальций	18—19 кг
вода	230 л

Бетонные образцы этого состава, изготовленные в забое при укладке подушек, показывали предел прочности на сжатие: в суточном возрасте 60—70 кгс/см²; в трехсуточном — 180—200 кгс/см².

Для приготовления бетонной смеси применяли автоматизированный бетоно-растворный узел С-543 производительностью 30 м³/ч, который размещался рядом со стволом. Смесь из бетоносмесителя поступала непосредственно в бетонопровод. При таких условиях бетон в подушку объемом 150—170 м³ укладывали за 6—8 ч.

Дренажный слой под подушку укладывали только при цементации первого участка. В дальнейшем оставляли целики с затампонированными трещинами. Воду, поступающую сверху, тщательно улавливали, а отдельные пропущенные трещины локализовали путем отвода из них воды по трубкам в емкость, откуда ее откачивали насосом Н-1М в емкость к подвесному насосу на полук.

В качестве водоулавливающего кольца использовался верхний козырек опалубки. Для этого пристенный зазор уплотняли цементной обмазкой.

Перед укладкой бетонной смеси забой и породные стенки ствола тщательно очищали и обмывали водой от глины и шлама. Это обеспечивало хорошее сцепление бетона подушки с породными стенками, что исключало необходимость устройства вруба для распора подушки.

По окончании возведения подушки в забой опускали буровые станки и закрепляли на раме. Затем над опалубкой из готовых щитов сооружали полук, на котором устанавливали цементационное оборудование. Для уплотнения контакта между породой и телом подушки ручными перфораторами разбуривали через кондуктора породное основание подушки на 0,5—1 м и прокачивали раствором состава 1:1 — 1:0,5 под давлением до 10 кгс/см².

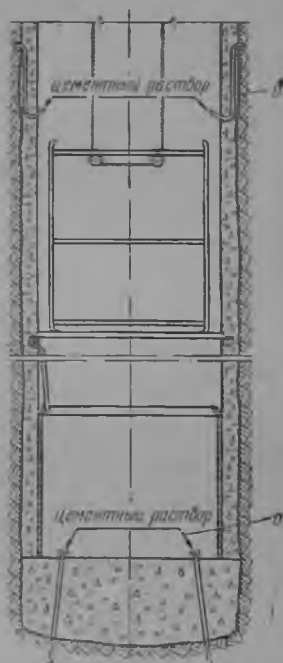


Рис. 18. Ликвидация притоков воды в ствол путем предварительной цементации пород забоя (а), отвода воды из трещин по шлангам с последующей цементацией их (б) и водоулавливания (в)

Цементировали также дренажные трубки, после чего приступали к бурению цементационных скважин. Нагнетание раствора в периферийные скважины производили с расчетом давления, которое допускала достигнутая к этому времени грузонесущая способность подушки.

Учитывая высокое содержание в бетоне цемента ($460-480 \text{ кгс/м}^3$) и хлористого кальция, организовали наблюдение за температурным режимом твердения бетона подушки.

Когда первую подушку во время твердения подтопили водой, ее температура повысилась до 60° . Температура последующих подушек, которые орошали водой, достигала 37° . На рис. 19 представлен график увеличения температуры бетона подушки при орошении водой.

Исходя из существующего метода расчета и с учетом максимального давления при нагнетании раствора ($p_0 = 70 \text{ кгс/см}^2$) толщина подушек должна быть не менее 4 м.

Однако фактическая толщина подушек составляла 1,5—3 м, в зависимости от того, на каком расстоянии от забоя оказывалась опалубка перед началом цементации. Никаких отрицательных последствий с подушками при нагнетании раствора не проявлялось.

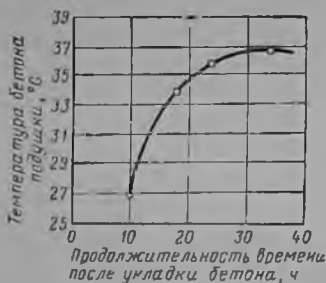


Рис. 19. График повышения температуры бетона тампонажной подушки

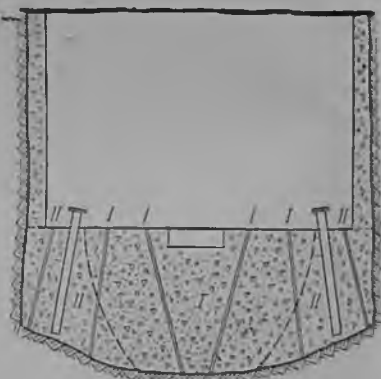


Рис. 20. Разборка тампонажной подушки буровзрывным способом.
I — участок подушки, взрывающийся и убираемый при первом взрыве; II — участок подушки, убираемый при втором взрыве

По окончании цементации подушку разбирали буровзрывным способом в два приема (рис. 20). Сначала обуривали и взрывали шпуры внутри окружности скважин. После уборки бетона из образовавшейся полости обуривали шпуры по периферии подушки. Время разбора подушки, в зависимости от ее толщины, составляло 12—20 ч.

Таким образом, в результате внедрения перечисленных мероприятий затраты времени на сооружение подушки (защитка забоя, водоулавливание, монтаж рамы и кондукторов, укладка бетонной

а: mesi и твердение ее до начала бурения цементационных сква-
 (екин), были сокращены до 1 сут, а с учетом разборки — до 1,5—
 2 сут по сравнению с обычными 7—10 сут.

по Число цементационных скважин и способы их бурения имеют
 важное значение для качества и скорости цементационных работ.

В данном случае первоначаль-
 но бурили по забою 12 сква-
 жин. Однако в связи с услож-
 нением условий трещиноватос-
 ти и появлением в трещинах
 глины вынуждены были увели-
 чить их число до 24—30 вмес-
 те с контрольными.

Для бурения скважин при-
 няли станки ГП-1.

С учетом производительных
 возможностей принятых буро-
 вых средств оптимальная глу-
 бина скважин (участка цемента-
 ции) была определена в пре-
 делах 40—50 м.

Для повышения производи-
 тельности станков ГП-1 ранее
 применявшиеся кольцевые ко-
 ронки заменили специальными
 резцами крупного скола РКС
 (рис. 21).

Результаты проведенных сравнительных испытаний кольцевых
 коронок и резцов РКС при бурении по песчаникам приведены в
 табл. 10.

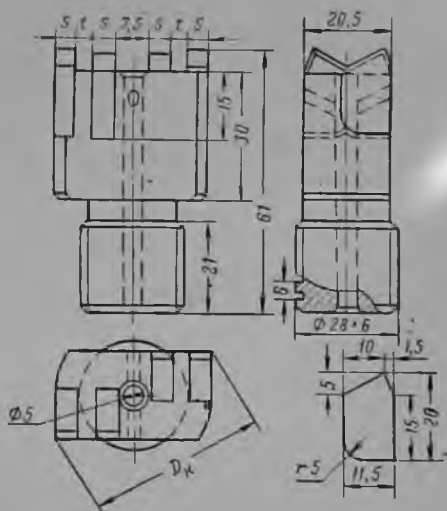


Рис. 21. Резец крупного скола РКС

Таблица 10

Показатели	Кольцевая коронка диаметром, мм		Коронка РКС диа- метром 40 мм
	59	46	
Скорость бурения, м/ч . .	1,8	2,4	3,2
Средняя производи- тельность, м/смену	—	9,3	15
Объем бурения до затупле- ния, м	0,9	3	9,4

Как видно из данных таблицы, применение коронки РКС по
 сравнению с кольцевой коронкой обеспечивает повышение произ-
 водительности бурения в 1,6 раза; ее износостойкость соответст-
 венно выше в 3 раза.

Коронки РКС необходимых диаметров (в данном случае диа-
 метром 40, 42 и 46 мм) изготовляли в рудничной мастерской.

Вместо малоомощного электрического двигателя, работа которого в мокрых условиях ствола сопровождалась частыми замыканиями и выходом из строя электрической части, заклиниванием и поломкой бурового инструмента, применили пневматический двигатель.

Для одновременного использования в забое приняли четыре станка вместо одного-двух, применявшихся ранее. Чтобы пол-

ностью освободить забой ствола для размещения станков, поверхность опалубки соорудили полком, где устанавливали цементационное оборудование (рис. 22).

Цементационный раствор для нагнетания в данном случае был принят на основе портландцемента марки 500 с добавкой жидкого стекла. Такой раствор в большей мере отвечал конкретным условиям и обеспечивал надежный тампонаж трещин.

Количество жидкого стекла, вводимого в раствор, назначалось в зависимости от В/Ц и составляло от 20—30 л/м³ при составе 1:1 до 30—40 л/м³ при составе 1:3.

Рациональной схемой нагнетания раствора в скважины является нагнетание с поверхности по трубопроводу. Однако в данном случае, вследствие сложившихся обстоятельств, эту схему внедрить не удалось. Поэтому нагнетание раствора производили из забоя. Для этого цемент мешками (ве-

сом по 50 кг) доставляли в забой бадами и раствор необходимого состава готовили на месте в специальных растворомешалках.

Порядок бурения и цементации был принят следующим. Каждую скважину бурили сразу до конечной глубины и после прокачивания водой цементировали. Если при этом вскрывался значительный приток воды, затруднявший бурение или водоотлив из забоя, бурение прекращали, извлекали буровой став и обычным порядком скважину цементировали. После схватывания раствора ее разбуривали, доводили до конечной глубины и цементировали окончательно.

Бурение скважин и нагнетание раствора осуществляли параллельно. Если при нагнетании раствор прорывался в те скважины, которые в данный момент бурили, то бурение прекращали и скважины перекрывали кранами до окончания инъецирования. Затем

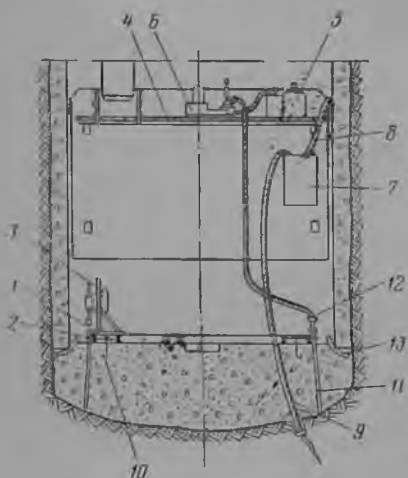


Рис. 22. Схема расстановки цементационного и бурового оборудования:

1 — рама-шаблон; 2 — держатели для кондукторов; 3 — буровой станок; 4 — полки из готовых блоков; 5 — растворомешалка; 6 — насос; 7 — емкость для воды; 8, 9 — шланги для отвода воды; 10 — анкерный болт; 11 — кондуктор; 12 — запорный кран; 13 — трубки для цементации контакта подушки с крепью

после схватывания раствора их разбуривали и доводили до конечной глубины.

Для приготовления раствора в забое использовали мешалки собственного изготовления (рис. 23). В качестве привода применяли пневматическое горное сверло, допускающее регулирование числа оборотов. Для непрерывности приготовления раствора использовали две растворомешалки.

Нагнетание раствора осуществляли насосами ЗИФ-200/40. В наличии имели три насоса, что позволяло при необходимости использовать в забое два из них. Третий насос являлся резервным. Электропривод насосов был заменен пневматическим двигателем ПРШ-16.

Цементационный насос с пневматическим двигателем весьма удобен для цементации с точки зрения плавности запуска и регулирования производительности и давления, исключения простоев из-за неполадок в электрооборудовании, а также с точки зрения техники безопасности.

Для кондукторов использовали трубы диаметром 75 мм с толщиной стенок 4,5—6 мм. Длина кондукторов зависела от толщины подушек. Кондуктора оборудовали фланцами. Запорные краны на давление до 80 кгс/см² (рис. 24) изготовляли в рудничных мастерских. Краны были удобными в обслуживании и надежными, их без особых трудностей устанавливали на скважины с притоком воды 65 м³/ч.

В качестве нагнетательных шлангов применяли бронированные рукава диаметром 38 мм на давление 100 кгс/см² и диаметром 50 мм на давление 150 кгс/см².

Производство цементационных работ в стволе. На рис. 25 представлены вся водоносная толща пород, пройденная с помощью предварительной цементации, вскрытые притоки воды и достигнутые скорости проходки ствола.

Первоначально цементация в стволе шахты Г-1 была проведена на отм. 180 и 205 м, где вскрыли небольшие водоносные участки с притоком воды 24 и 27 м³/ч.

В дальнейшем, начиная с отм. 252 м, на которой появился приток воды, перфораторами КС-50 бурили разведочные скважины. Скважинами вскрывался возрастающий с глубиной приток воды,

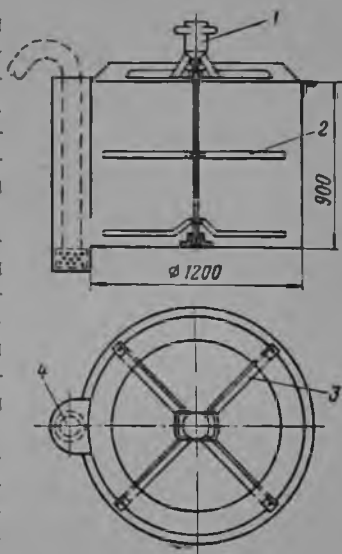


Рис. 23. Растворомешалка
1 — двигатель (пневмосверло); 2 — лопасть, 3 — крестовина, 4 — гнезда для вала

достигавший 56—65 м³/ч при давлении 11 кгс/см². В разведочной скважине нагнетали раствор.

Цементацию водоносного участка осуществляли короткими заходками по 4—6 м без возведения подушек. Этому способствова-

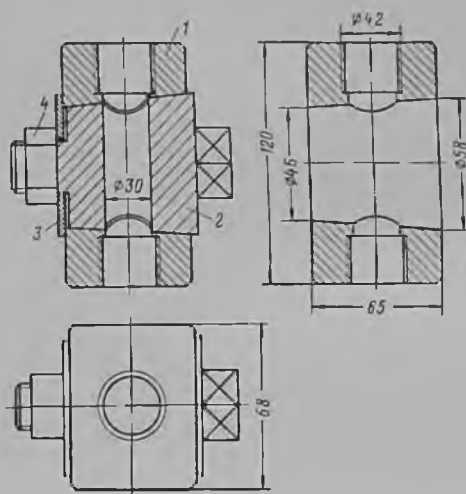


Рис. 24. Запорный пробковый кран:

1 — стальной корпус; 2 — латунная пробка; 3 — шайба;
4 — гайка М-24

благоприятный характер трещиноватости. Одиночные трещины при крепких породах успешно чеканили деревянными клиньями для предотвращения прорыва раствора в забой ствола в процессе нагнетания. Для нагнетания применяли раствор состава 1 : 1 с добавкой жидкого стекла. Давление раствора доводили до 50 кгс/см². Цементационные скважины диаметром 40 мм бурили ручным перфоратором ПР-35 составными штангами на конусном соединении.

В устье скважины на глубину 1 м устанавливали тампонажные трубки, которые уплотняли пеньковыми жгутами с цементом и закрепляли металлическими и деревянными клиньями. Кондуктора, устанавливаемые в породном целике, приведены на рис. 26. Приток воды ликвидировали полностью.

Таким образом, цементируя короткими заходками, прошли ствол до отм. 280 м, где забоем был вскрыт приток воды 96 м³/ч.

Начиная с отм. 270 м, породы становились все более нарушенными, с глинистыми прослойками, из забоя водоприток возрастал, чеканка трещин становилась трудней.

Дальнейшая цементация из-за сильной нарушенности пород могла

осуществляться только под защитой тампонажных подушек и, следовательно, глубокими участками.

Вследствие сложившихся обстоятельств цементация участка I (отм. 280—315 м) была осуществлена по обычной схеме с повторением традиционных недостатков (длительное сооружение тампонажной подушки, низкая скорость бурения скважин и др.).

Толщина тампонажной подушки 5 м. Скважины размещали по двум окружностям. Во внешней окружности диаметром 6 м располагали 10 скважин глубиной 10 м при угле наклона 85° ; бурили их колонковыми перфораторами КС-50. Во внутренней окружности диаметром 5 м было 15 скважин глубиной 40 м при угле наклона 87° ; бурение производили станками ГП-1.

Скважины внешнего ряда бурили группами по 3 шт. Большинство из них вскрывало значительный приток воды — до $42\text{--}60\text{ м}^3/\text{ч}$. Давление воды достигало $10\text{--}11\text{ кгс}/\text{см}^2$. Нагнетание начинали с состава 1:5 и заканчивали составом 1:1. Перед нагнетанием определяли удельное водопоглощение.

Внутренний ряд скважин бурили тремя станками ГП-1, оборудованными электродвигателями, на глубину 40 м кольцевыми коронками диаметром 59 и 46 мм с извлечением керна. Крепление станков осуществляли анкерами к подушке.

В зацементированной первой заходке воды не обнаружили, а ниже вскрылся приток воды, дости-

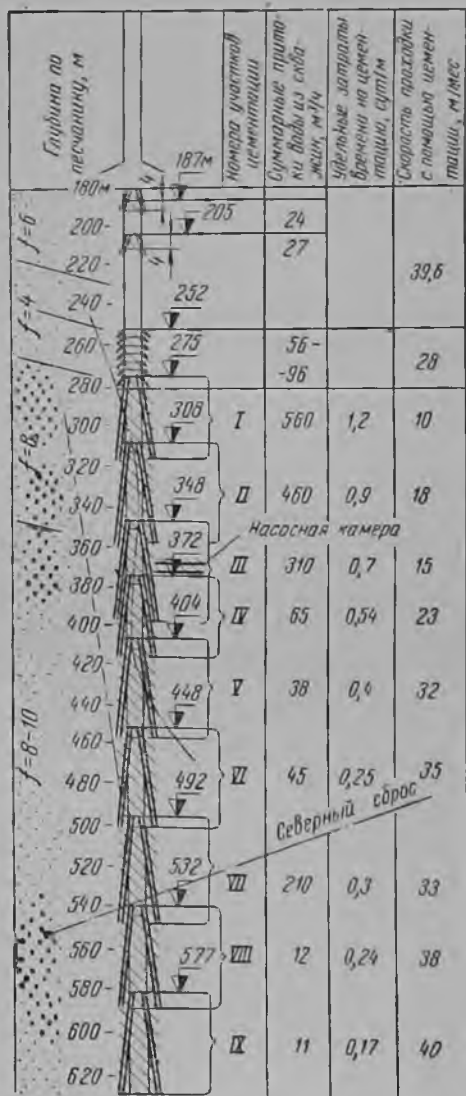


Рис. 25. Разрез по стволу с указанием участков цементации, вскрытых притоков и достигнутых скоростей проходки

гавший из отдельных скважин 30—60 м³/ч. Суммарный приток в 1,5 ды, вскрытый при бурении всех цементационных скважин внешней и внутренней окружности, составил 560 м³/ч.

Максимальное давление при нагнетании раствора достигало 50 кгс/см². Поглощение цемента отдельными скважинами колебалось от 0,5 до 7,5 т.

На цементацию участка затратили 42 сут, которые распределились следующим образом:

подготовка к сооружению тампонажной подушки (подвеска трубопроводов, насосов ППН-50 и др.)	12
сооружение и твердение подушки	11
бурение и цементация скважин	16
разборка подушки	3

Удельные затраты времени на цементацию составили 1,2 сут/м.

Две контрольные скважины, обуренные по окончании цементации, показали удельное водопоглощение 0,0047 и 0,0031 л/мин. м. м. (при допустимом 0,01 л/мин. м. м.), что дало основание считать проведенную цементацию удовлетворительной.

При проходке участка приток воды ниже подушки был незначительным. Однако на глубине 292 м с юго-западной стороны забоя произошел вывал породы, где обнаружилась пачка нарушенных пород, из которой приток воды составлял сначала 15—20, а затем возрос до 50 м³/ч. Этот приток воды ликвидировали заделкой дренажных трубок и нагнетанием в них раствора после затвердевания бетона за опалубкой.

Пройдя 30 м и оставив ниже зацементированный целик длиной 5 м, приступили к цементации участка II (отм. 308—355 м).

Опалубка с поддоном находилась на высоте 1,5 м от забоя. Чтобы не делать очередного взрыва, уложили подушку толщиной

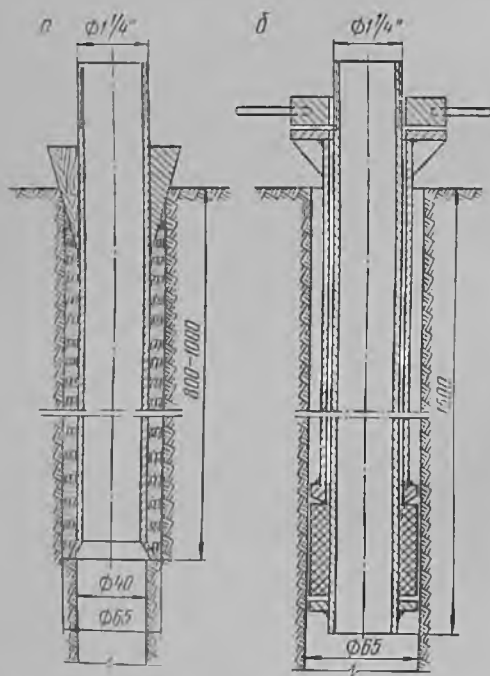


Рис. 26. Кондуктора, устанавливаемые в породном целике:

а — кондукторная трубка; б — телескопический кондуктор;

в 1,5 м. Подушку выполнили без вруба и без устройства дренажного слоя.

На третьи сутки после укладки подушки начали бурение и цементацию скважин. Скважины бурили группами по 4 шт. Затем, когда этот порядок нарушался, буровые станки расставляли так, чтобы, по возможности, исключить связь между буримыми и цементируемыми скважинами. Как и на участке I, скважины бурили до конечной глубины, если позволял приток воды из них. Гидростатическое давление составляло 15—17 кгс/см². Приток воды был несколько меньше, чем на участке I, из отдельных скважин он достигал 52 м³/ч. Суммарный приток воды из всех скважин составил 460 м³/ч.

Максимальное давление при нагнетании раствора составляло 60—65 кгс/см².

Несмотря на толщину тампонажной подушки, равную 1,5 м (по сравнению с 4 м по расчету), никаких нарушений и прорывов раствора не наблюдалось.

На рис. 27 представлена развертка по скважинам участка II с указанием отметок появления воды, величин притоков воды (м³/ч)

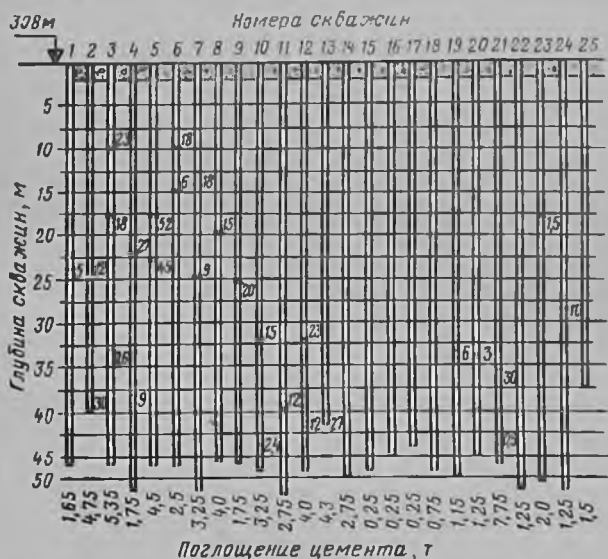


Рис. 27. Развертка по скважинам участка II с указанием отметок появления воды, величин притоков воды и количества поглощенного цемента каждой скважины

и количества поглощенного цемента каждой скважиной. Две контрольные скважины показали удовлетворительные результаты работ. Приготовление и нагнетание раствора объемом 117,5 м³ вели параллельно бурению.

При цементации второго участка затраты времени оказались следующими (сут):

установка кондукторов и укладка подушки объемом 70 м ³	2,5
твердение подушки до начала бурения скважин	2,5
бурения 1574 м скважин	35
разборка подушки и подготовка к проходке	2

Хотя по сравнению с участком I удельные затраты времени на цементацию снизились с 1,2 до 0,9 сут/м, достигнутые результаты не решали поставленной задачи. При полном объеме бурения 1574 м среднесуточная производительность бурения тремя станками составила 45 м.

В зацементированном участке при проходке ствола вскрывались отдельные небольшие трещины, из которых поступала вода не более 5—6 м³/ч. В трещины забуривали неглубокие шпурь, заделывали дренажные трубки, через которые после возведения крепи нагнетали раствор.

Скорость проходки участка II с учетом цементации составила 18 м/мес (по сравнению 10 м/мес на участке I).

При цементации участка III (отм. 348—395 м) толщина подушки составила 3,5 м, число скважин — 24. При бурении скважины № 19; вскрыли приток воды более 100 м³/ч, что вместе с притоком воды из двух других скважин составило выше 150 м³/ч. Из-за допущенной оплошности забой был затоплен. На ликвидацию затопления затратили около 30 сут. Факт затопления ствола свидетельствует о том, насколько необходимо поддерживать в готовности необходимое оборудование при неожиданных прорывах воды.

В скважину № 19 было нагнетено около 24 т цемента. Бурение и цементация других скважин не вызвали никаких затруднений. Суммарный вскрытый скважинами приток воды составил 310 м³/ч.

Цементационные работы участка III выполнили за 32 сут. Буровые работы в объеме 1100 м заняли 20 сут. Удельные затраты времени на цементацию составили 0,7 сут/м.

Ствол углубили до отметки 372 м, где должна быть пройдена камера водоотлива длиной 26 м. Требовалось процементировать породы в направлении камеры. Заодно решили осуществить цементацию участка IV (отм. 372—412 м).

Углубив ствол до 375 м, установили 25 кондукторов и возвели подушку толщиной 3 м. Над опалубкой настлали полук, с которого обурили и зацементировали верхний ряд скважин в направлении будущей камеры (рис. 28). Все скважины в интервале 3—14 м от крепи ствола вскрыли значительный приток воды, достигавший из некоторых 42 м³/ч. Далее опалубку подняли на 4 м, установили на раму станки и произвели бурение и цементацию скважин по забою ствола на глубину 40 м. Две контрольные скважины, пробуренные по окончании цементации, показали удовлетворительное удельное водопоглощение.

В последнюю очередь произвели цементацию нижних рядов скважин по водоотливной камере. Суммарный приток воды, вскры-

тый скважинами по камере, составил $300 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление при нагнетании раствора — $40\text{—}75 \text{ кгс/см}^2$.

Цементация участка была выполнена за 20 сут.

Удельные затраты времени на цементацию снизили до $0,54 \text{ сут/м}$, что уже удовлетворяло поставленной задаче. Среднесуточный объем бурения четырьмя станками составил $118,4 \text{ м}$. В те-

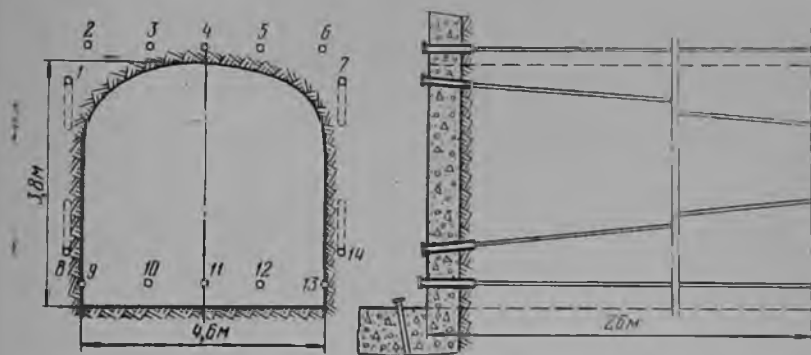


Рис. 28. Схема расположения скважин при цементации насосной камеры

чение нескольких суток скорость бурения достигала $223, 170$ и 160 м/сут . За первые 7 сут обурили и зацементировали 1000 м скважин. Цементации участка глубиной 50 м стала возможна за $10\text{—}12 \text{ сут}$.

Скорость проходки ствола с учетом цементации составила 23 м/мес . Из насосной камеры приток воды отсутствовал. Камеру объемом вчерне около 400 м^3 зацементировали, прошли и закрепили бетоном в течение 1 мес.

На глубине 407 м приступили к цементации участка V при 24 скважинах (рис. 29). Схема расположения скважин, приведенная на рис. 29, была принята в дальнейшем постоянной. Цементацию осуществили при более высоких темпах, чем на предыдущих участках. Удельное время цементации составило $0,4 \text{ сут/м}$, а скорость проходки ствола — 32 м/мес .

Наиболее совершенной и отработанной была цементация участка VI и всех последующих, когда коллектив шахтопроходчиков освоил процессы цементации и реализовал в должной мере разработанные организационно-технические мероприятия.

При цементации участка VI (отм. $448\text{—}498 \text{ м}$) толщина подушки составила $2,8 \text{ м}$. Бетонную смесь в объеме 156 м^3 уложили за 8 ч. На сооружение подушки затратили около 1 сут.

Бурение цементационных скважин начали через 10 ч после укладки бетонной смеси в подушку. Бурение и цементация скважин производились в том порядке, как указывалось выше. После прокачки водой и определения удельного водопоглощения в сква-

жины подавали по 500 л 2—3%-ного раствора жидкого стекла для смазки трещин, затем нагнетали цементный раствор, начиная состава 1:5—1:3 и кончая составом 1:1. Давление воды достиг

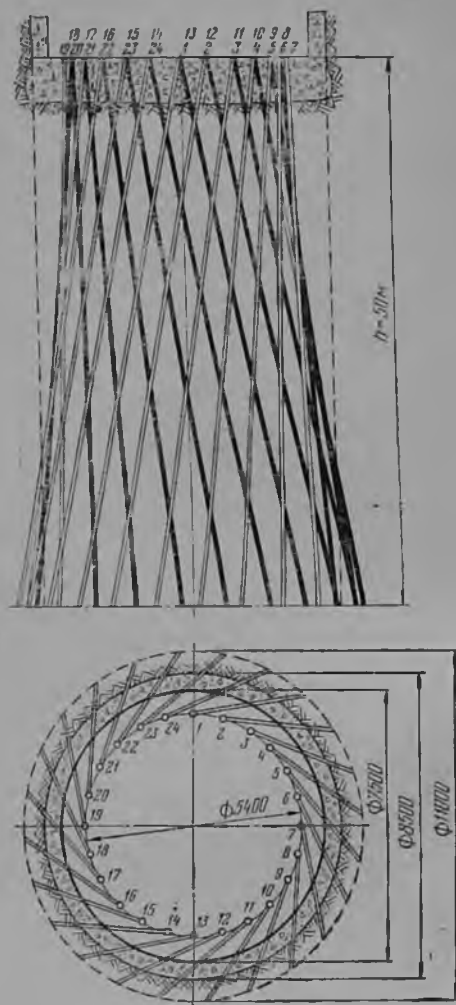


Рис. 29. Схема расположения цементационных скважин

гало 14 кгс/см², конечное давление раствора — 60—70 кгс/см². Суммарный вскрытый скважинами приток воды составил 45 м³/ч.

По окончании цементации срезали фланцы на кондукторах, кольцевую раму демонтировали и выдали на поверхность.

пересекал зону Северного сброса, то притоки воды из скважин возросли и в сумме составили $210 \text{ м}^3/\text{ч}$. Давление воды достигало $26 \text{ кгс}/\text{см}^2$, давление при нагнетании раствора — $80 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Цементация участка заняла 16 сут. Удельные затраты времени составили $0,33 \text{ сут}/\text{м}$, а скорость проходки ствола с цементацией — $33 \text{ м}/\text{мес}$.

При цементации участка VIII (отм. 532—582 м) затраты времени на сооружение, твердение и разборку подушки толщиной 2,6 м составили 1,67 сут.

Буровые работы в объеме 1420 м выполнили за 9,3 сут (при среднесуточной скорости бурения 153 м). Притоки воды из скважин резко снизились и в сумме составили $12 \text{ м}^3/\text{м}$. Цементация участка была выполнена за 11,3 сут при удельных затратах времени $0,24 \text{ сут}/\text{м}$. Скорость проходки ствола достигла $38 \text{ м}/\text{мес}$.

При цементации участка IX (отм. 577—627 м) в связи с резким снижением притока воды обурили и зацементировали 15 скважин, на что затратили 6 сут. при объеме бурения 820 м. Вскрытый приток воды составил $11 \text{ м}^3/\text{ч}$. На сооружение и разборку подушки затратили 1,55 сут. Цементация участка IX заняла 7,8 сут. Удельное время — $0,165 \text{ сут}/\text{м}$. Скорость проходки ствола с цементацией составила $40 \text{ м}/\text{мес}$.

На участке X без возведения подушки было обурено 8 скважин по 50 м, которые обнаружили незначительное количество воды. В скважины нагнетали раствор. Участок прошли практически без притока воды. Дальнейшая проходка ствола осуществлялась опережающим бурением четырех разведочных скважин на глубин 50 м, на что тратилось времени немного более 1 сут. Воду не обнаружили и на отм. 770 м, где стволом пересекался второй Северный сброс.

Таким образом, с помощью предварительной цементации из забоя была пройдена сплошная водоносная зона мощностью 425 м (с отм. 252 м до отм. 677 м). С учетом двух верхних небольших участков общая мощность водоносной зоны составила 435 м. На ее цементацию и проходку было затрачено 17,4 мес (без учета проходки промежуточных камер водоотлива) при средней скорости проходки $25 \text{ м}/\text{мес}$.

Предварительная цементация позволила ликвидировать значительные притоки воды, которые в сумме из всех скважин составили более $2400 \text{ м}^3/\text{ч}$, и обеспечить нормальные условия проходки.

В сложных гидрогеологических условиях ствол шахты Г-1 был пройден в требуемые сроки.

В табл. II приведены основные технические данные по участкам цементации и затраты времени по процессам. Эти данные показывают, как по мере освоения технологии цементационных работ исключались простои, сокращалось время, связанное с возведением подушек и их разборкой, и время бурения цементационных скважин.

Показатели

Глубина скважин, м	
Суммарный приток воды, вскрытой скважинами, м ³ /ч	
Толщина и объем тампонажной подушки, $\frac{\text{м}}{\text{м}^3}$	
Объем буровых работ, м	
Объем цементационного раствора, м ³	
Сооружение тампонажной подушки, сут	
в том числе:	
установка кондукторов	
укладка бетонной смеси	
твердение бетона до начала бурения скважин	
разборка подушки	
Бурение цементационных скважин, сут	
Приготовление и нагнетание раствора, сут	
Заключительные работы (демонтаж оборудования, подготовка к проходке), сут	
Простои, связанные с затоплением забоя, подготовкой к цементации и др., сут	
Всего, сут	

Участки цементации (см. рис. 25)

I	II	III	Насос- ная ка- мера	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
---	----	-----	---------------------------	----	---	----	-----	------	----	---

Технические данные

40	47	47	30	40	50	50	50	50	50	50
560	460	310	300	65	38	45	210	12	11	—
5	1,5	3,5	—	3	3	2,8	1	2,6	2,5	—
267	70	130	—	150	172	156	100	158	146	—
605	1574	1100	550	1184	1350	1245	1683	1420	820	400
115	118	130	172	116	92	53	123	85	43	20

Данные по времени

14	7	8	—	5	3,5	1,8	1,5	1,67	1,55	—
2	1,7	1,5	—	1	0,6	0,3	0,25	0,2	0,2	—
2	0,3	0,5	—	0,5	0,35	0,3	0,25	0,3	0,25	—
7	3	3	—	2,5	1	0,4	0,5	0,5	0,5	—
3	2	3	—	1	1,5	0,8	0,5	0,67	0,6	—
16	35	20	10	10	13	10	14	9,3	6	2,5

Одновременно с бурением скважин

—	—	—	—	—	1	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2
12	—	34	—	5	1,5	—	—	—	—	0,3
42	42	62	10	20	19	12	16	11,3	7,8	3

Например, затраты времени на подушку на первых участках цементации составляли 7—14 сут, на последних участках эти затраты значительно снизились и составили 1,5—1,67 сут. Под время цементации участка с 42 сут сократилось до 8 сут.

В табл. 12 представлены данные по бурению цементационных скважин. Они свидетельствуют о том, как в результате реализации разработанных мероприятий суточные объемы бурения возросли с 41—45 м на первых участках до 150—160 м на последних, что способствовало резкому ускорению проведения цементации.

Эти данные показывают также, что в процессе бурения скважин

Таблица 12

Показатели	Участки цементации								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Глубина скважин, м	40	47	47	40	50	50	50	50	50
Число скважин . . .	27	28	23	28	25	24	30	25	15
Полный объем бурения, м	665	1574	1100	1184	1350	1245	1683	1420	820
в том числе:									
по породе . . .	—	1234	1010	1074	1150	1145	1476	1250	750
по цементному камню	—	340	90	110	200	100	207	170	70
Отношение объема разбуривания к полному объему бурения, %	—	21,5	8,2	9,3	15	8	12,3	12	8,5
Число работающих станков ГП-1 . . .	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Время выполнения буровых работ, сут	16	35	20	10	13	10	14	9,3	6
Суточный объем бурения, м	41,5	45	55	118,4	104	124,5	120	153	137
Средняя производительность 1 станка, м/смену	—	3,8	4,5	9,8	9	10,4	10	12,7	13,2
Полезно отработанное время (без учета простоев), % . . .	—	68	56	82	58	70	77	95	93

Материалы	Участки			
	короткие заходки	I	II	III
Кондукторные трубы диаметром 75 мм, м	—	138	65	126
Бетон марки 300, м ³	—	267	70	130
Цементационный раствор, м ³	78	115	118	130
Цемент марки 500, т	51	63	70	83
Жидкое стекло с удельным весом 1,4 г/см ³ , л	1185	2675	2155	2050

жии имеются резервы повышения производительности за счет сокращения простоев, которые достигали, к сожалению, 23—44% общего времени.

Кроме того, в табл. 12 приведено отношение объема разбуривания по цементному камню к полному объему бурения, которое в подавляющем большинстве участков составляло 8—15%. Этот показатель свидетельствует об эффективности принятых цементационных растворов и порядка цементации скважин. Обычно при применении чисто цементных растворов это отношение составляет не менее 50%.

В табл. 13 представлены затраты материалов на производство цементации по участкам и стволу в целом, по которым можно судить об экономичности работ.

В табл. 14 приведены затраты материалов и времени, отнесенные к 1 м ствола. Как видно из табл. 14, несмотря на значительные притоки воды, расход раствора и цемента оказался экономичным и составил в среднем соответственно 2,7 м³/м и 1,35 т/м. Обычно при аналогичных притоках воды расход цемента составляет 4—10 т/м и более. Здесь сказались эффективность принятых растворов и соблюдение технологии цементации.

Таблица 14

Затраты	Участки цементации											В среднем по стволу
	Короткие заходки	I	II	III	насосная камера	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Бетон для тампонажных подушек, м ³ /м	—	7,6	1,5	2,8	—	4	3,65	3,3	2,1	3,3	3,1	3,6
Раствор, м ³ /м	2,05	3,1	2,5	2,9	5,9	3,15	1,95	1,06	2,56	1,8	0,91	2,7
Цемент, т/м	1,35	1,65	1,5	1,85	2,7	1,35	0,93	0,53	1,7	0,85	0,4	1,35
Жидкое стекло, л/м	50	73	46	45	137	81	51	29	89	38,5	18	57
Время цементации (удельное время), сут/м	0,5	1,2	0,9	0,7	0,38	0,54	0,4	0,255	0,33	0,24	0,165	0,57

Таблица 13

цементации								
насосная камера	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	по стволу
30	80	72	72	60	62	60	—	745
—	150	172	156	100	158	146	—	1350
177	116	92	53	123	85	43	20	1053
82	50	43	25	81	40	19	10	535
4125	3020	2400	1365	4265	1820	850	400	22190

Удельное время цементации с 0,9—1,2 сут/м на первых участках сокращалось до 0,16—0,24 сут/м на последних, что способствовало увеличению скорости проходки ствола с 10 м/мес до 40 м/мес.

На рис. 31 представлены диаграммы снижения удельного времени цементации и увеличения скорости проходки ствола.

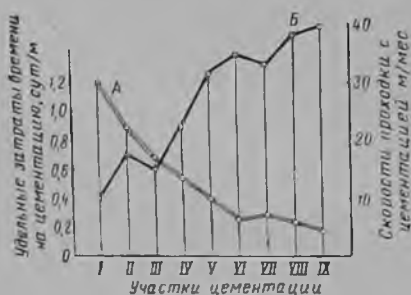


Рис. 31. Диаграмма снижения удельного времени цементации и увеличения скорости проходки ствола:

А — удельное время цементации; Б — скорости проходки ствола

В результате реализации разработанных организационно-технических мероприятий средняя скорость проходки ствола с учетом цементации повышена в 2,5—3 раза по сравнению с проходкой при обычных условиях цементации. Это способствовало снижению стоимости сооружения ствола.

Глава III

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

1. ОЦЕНКА И ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ЦЕМЕНТАЦИИ

Цементация с поверхности земли. В последнее время проявляется тенденция к цементации с земной поверхности на большие глубины (до 500 м и более) при сокращенном числе скважин и повышенном давлении раствора. Например, в Донбассе на вентиляционном стволе № 4 шахты «Красноармейская-Капитальная» комбината Красноармейскуголь была проведена цементация с поверхности с помощью 8 скважин глубиной по 725 м. На вентиляционном стволе шахты № 21-бис комбината Макеевуголь цементацию водоносных пород осуществили через 9 скважин глубиной по 600 м.

Цементация с поверхности земли имеет определенные преимущества по сравнению с цементацией из забоя ствола. И тенденция к цементации с земной поверхности вполне оправдана. Однако для правильного выбора схемы цементации необходимо технико-экономическое обоснование с учетом конкретных горно-геологических условий.

Экономическая целесообразность цементации с поверхности земли или из забоя ствола определяется по формулам проф. Н. Г. Трупака [3].

Стоимость цементации из забоя составляет с учетом общешахтных расходов

$$A = \left[\left(\frac{NH}{\cos \alpha} + \frac{Nh_1}{\cos \alpha} n \right) e + \frac{NH}{\cos \alpha} qk + (a + b) n \right] C, \text{ руб.}, \quad (1)$$

где N — число скважин в одной заходке;

H — общая мощность водоносных пород, м;

h_1 — высота участка перебуривания (защитный целик), м;

n — число участков цементации;

e — стоимость бурения 1 м скважин, руб.;

q — стоимость разбуривания 1 м скважин, руб.;
 k — число разбуриваний;
 a — стоимость укладки подушки, руб.;
 b — стоимость разборки подушки, руб.;
 C — коэффициент общешахтных расходов;
 α — угол наклона скважин, град.
 Стоимость цементации с поверхности

$$B = mHd + \left[\frac{(u-1)u}{2} zm + (u-1)lm \right] kl, \text{ руб.},$$

где m — число скважин;
 H — глубина скважин с поверхности, м;
 d — стоимость бурения 1 м скважин с поверхности, руб.;
 u — число заходов цементации;
 z — величина заходки, м;
 f — стоимость разбуривания 1 м скважин, руб.;
 k — число разбуриваний;
 l — глубина скважин до водоносной зоны, м.

Если при расчете оказывается, что $B < A$, то цементация с поверхности экономически выгодна.

Наиболее важными элементами, определяющими объем буровых работ, в этих выражениях являются глубина и число скважин, от которых экономическая целесообразность будет изменяться в ту или иную сторону.

Основным недостатком цементации с поверхности является значительный объем буровых работ. Опыт цементации стволов шахт № 7 «Нововолынская» и № 8 «Нововолынская» Львовско-Волынского бассейна показал, что объем бурения по породе составляет 3900 м, а разбуривание по тампонажному камню соответственно 36 400 и 47 400 м, т. е. в 9 и 12 раз больше [3]. На разбуривание скважин затратили 80% всего времени бурения.

В вентиляционном стволе шахты № 2 «Полысаевская» в Кузбассе при мощности зацементированных пород, равной 106 м, был выполнен объем бурения в 17 172 м, из них по породе — 3544 м, цементному камню — 13 628 м (в 3,9 раз более). Затраты на бурение составили 61% сметной стоимости цементации [15].

Кроме того, цементация с поверхности земли характеризует повышенным расходом тампонажных материалов вследствие их большого количества в значительной трещиноватой зоне. Так, на той же шахте № 2 «Полысаевская» расход раствора на 1 м ствола составил 57 м³, а цемента — 26 т.

Значительные затраты средств и времени на выполнение таких больших объемов буровых работ обуславливают стремление снизить их путем: сокращения числа скважин за счет повышения давления раствора при нагнетании, когда радиус его распространения увеличивается благодаря гидравлическому разрыву пластов; бу-

ния скважин сразу же на полную глубину, возможно, до проектной глубины ствола, исключая многократное разбуривание по тампонажному камню.

При этом экономическая сторона предварительной цементации существенно улучшается.

Следуя этой тенденции, высказывается мнение о цементации на большую глубину при 1—4 скважинах, как в ЮАР [1].

Однако за экономической целесообразностью должен следовать и технический эффект цементации. С увеличением числа скважин стоимость работ возрастает, но одновременно повышается и качество цементации. С уменьшением числа скважин стоимость и качество работ снижаются.

Практика показывает, что число цементационных скважин диктуется конкретными гидрогеологическими условиями, свойствами пород, характером трещиноватости, наличием в трещинах продуктов разложения, качеством тампонажных растворов. Но зависимости числа скважин от давления нагнетаемого раствора явно не прослеживается. Анализ практического опыта не подтверждает, что за счет повышения давления раствора число скважин может быть резко сокращено. И при давлении 200—300 кгс/см² число скважин оказывается сравнительно большим [7, 8, 16 и 18].

При высоком давлении раствора в наиболее ослабленном месте породы могут раздвигаться, ломаться и образовывать каналы. Но эти каналы не соединят трещины в сообщающуюся между собой систему, которая могла бы быть зацементирована при небольшом числе скважин, как предполагается. Кроме того, существует мнение, что применение высоких давлений не обеспечивает уплотнения массива цементируемых пород. Скорее всего, высокое давление бесполезно и даже вредно, потому что это может привести к гидроразрыву пластов и образованию в них новых каналов, по которым раствор распространится за пределы необходимого участка, в то время как мелкие трещины и поры не будут уплотнены [17].

Вполне возможно, что при неоднородных породах, например глинистых сланцах и песчаниках, под действием высокого давления более слабые глинистые пласты, разрываясь в первую очередь, будут поглощать большое количество раствора, создавая иллюзию успешной цементации водоносного песчаника. Чтобы исключить такую возможность, надо участки слабых пород обсаживать трубами, что усложнит и повысит стоимость работ.

На практике принимают, что максимальное давление при нагнетании раствора должно превышать гидростатический напор воды по крайней мере в 2,5 раза или составлять 0,23 кгс/см² на 1 м глубины залегания цементируемого участка, но не менее 35 кгс/см² [18]. Развивать давление выше не имеет смысла, за исключением, может быть, отдельных случаев, когда требуется уплотнить, отжать из трещин глину, ил.

Обращаясь к опыту цементации в ЮАР, можно видеть, что именно конкретные условия предопределили там развитие способа

цементации с поверхности на всю глубину ствола при 1—4 скважинах.

В ЮАР шахтными стволами пересекаются в основном однородные породы — толщи доломитов мощностью 800—1200 м и более. По всей толще доломитов встречаются большие пустоты и трещины (до 2 м шириной), опасные катастрофическими прорывами воды с притоком до 3000 м³/ч. Трещины и пустоты часто заполнены вадом — водонасыщенными продуктами разложения.

Кроме того, встречаются зоны мелкотрещиноватых пород. Гидростатический напор воды достигает 70—90 и даже 150 кгс/см².

Пустоты и трещины поглощают огромное количество тампонажного раствора (до 105 т и более на 1 м ствола). Если такая трещина вскрывается во время проходки ствола, то нагнетание в нее раствора занимает времени гораздо больше, чем бурение цементационных скважин, не говоря уже о том, что их вскрытие нередко сопровождается внезапными прорывами воды, затоплением стволов и значительными затратами времени и средств на ликвидацию прорыва.

Такие условия определили развитие технологии цементации пород в два этапа [18, 19].

На первом этапе выполняют цементацию с поверхности при 1—4 скважинах на всю мощность водоносных пород — до 1200 м.

Бурение и нагнетание раствора производят заходками по 30—60 м. Цель такой цементации с поверхности заключается в том, чтобы вскрыть и зацементировать большие трещины и пустоты до проходки ствола, выполнив основной объем по нагнетанию раствора без задержки проходки и тем самым исключив простои, а также аварийные прорывы воды.

Высокий гидростатический напор воды и необходимость уплотнения и отжатия из трещин вад обуславливают необходимость применения высоких давлений при нагнетании раствора до 300 кгс/см² и выше. Окружающие однородные породы позволяют развивать давление до такой величины.

Второй этап цементации осуществляется в процессе проходки ствола из забоя, когда вскрываются мелкотрещиноватые зоны пород, которые не смогли зацементировать с поверхности вследствие малого числа скважин. При этом число цементационных скважин колеблется от 6 до 32, а в среднем составляет 16. Глубина скважин достигает 49 м. Раствор в скважины нагнетают с поверхности по цементопроводам.

О преимуществе цементации в два этапа по сравнению с цементацией только из забоя свидетельствует следующий пример. При проходке ствола № 2 на руднике компании «Фри Стейт Джеральд Майнс» борьба с притоками воды осуществлялась с помощью забойной цементации. При этом расход цемента составил 1070 т, а затраты времени — 197 сут. При закладке ствола № 2А, расположенного вблизи шахты № 2, перед началом проходки была проведена цементация с поверхности через две скважины, обуре-

ные рядом со стволом. На цементацию с поверхности было израсходовано 4840 т цемента. При проходке этого ствола затраты времени на забойную цементацию составили всего 16,5 сут [19]. Таким образом, хотя цементация с поверхности потребовала в 4 раза больше цемента, простои ствола при проходке были сокращены в 12 раз, что обеспечило в конечном итоге более экономичный результат.

В некоторых случаях оказывалось достаточно только цементации с поверхности, что было связано опять-таки с характером трещиноватости — отсутствием мелкотрещиноватых зон. Надобность в цементации из забоя отпадала.

Поэтому нельзя считать, что вариант цементации с поверхности, проводимый в ЮАР, полностью решает проблему водоподавления, как это представляется в некоторых литературных источниках [1].

Применительно к условиям сооружения стволов шахт в Советском Союзе, отличающимся многообразием, вполне возможно, что в некоторых отдельных случаях, при благоприятных условиях и характере трещиноватости, цементация с поверхности на большую глубину при малом числе скважин окажется достаточно эффективной.

В обычных условиях, характеризующихся неравномерной и неоднородной трещиноватостью пород и другими особенностями, такой вариант не обеспечит требуемого эффекта водоподавления. Это может обуславливаться недостаточным числом скважин или кольматацией трещин, так как при глубокой скважине их вскрывают в гораздо большем числе, следовательно, скорость движения раствора как в скважине, так и в трещинах резко снижается, что вызывает преждевременное образование осадка.

Кроме того, при большой глубине, как показывает опыт, отклонение скважин от вертикали может оказаться значительным (рис. 32). Поэтому могут образовываться нецементируемые окна.

Эти факторы приводят к двойным затратам на цементацию — с поверхности и из забоя. Например, при цементации 12 скважинами зоны IV (отм. 208—280 м) в скиповом стволе шахты «Красная Звезда» (Донбасс) с поверхности было разбурено 2160 м скважин и израсходовано 524 т цемента. Несмотря на это, результат водоподавления оказался неудовлетворительным. При проходке ствола в этой зоне пришлось соорудить

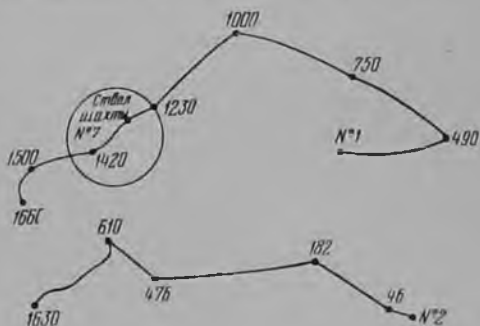


Рис. 32. Отклонение скважин при цементации с поверхности шахты № 7 на золотом руднике Св. Елены.

в забое подушку объемом 300 м³, обурить 860 м скважин и закачать дополнительно 855 м цемента [20].

Следует также отметить, что при цементации с поверхности большую глубину, выполняемый объем бурения скважин, вследствие разобщенности водоносных зон распределяется неравномерно на водоносную и неводоносную части. Например, в условиях Донбасса из общей толщи пересекаемых скважинами пород водоносные пласты составляют по мощности в среднем $\frac{1}{3}$ часть. Следовательно, $\frac{2}{3}$ всего объема бурения скважин выполняется по сухим породам.

Таким образом, сравнивая способы цементации из забоя ствола и с поверхности, можно сказать следующее.

При цементации из забоя ствола удобнее задавать скважинам необходимое направление в зависимости от направления трещин, легче избежать отклонения направления скважин, представляется возможным контролировать и корректировать параметры цементации в зависимости от выявляемого характера трещиноватости, местных условий и результатов цементации на предыдущих участках.

Способ цементации с поверхности этими достоинствами не обладает. Его преимущество заключается главным образом в экономической эффективности.

Расчет стоимости и учет рассмотренных технических факторов показывают, что способ цементации с поверхности является технико-экономически более выгодным при глубине 150—200 м, при достаточной мощности водоносной зоны и крупных однородных трещинах. При вертикальных трещинах этот способ цементации вообще неприемлем.

При цементации с поверхности число скважин может быть сокращено следующим образом. Установилось, что скважины располагают вокруг ствола по окружности, диаметр которой на 2—4 м больше диаметра ствола в проходке. Расстояние между скважинами составляет 2—3 м и реже 1—1,5 м. При размещении скважин по такой окружности кроме повышенного числа их имеет место и повышенный расход раствора вследствие охвата большей трещиноватой площади, а результат цементации может быть менее эффективен по сравнению со способом цементации из забоя, при которой сетка скважин чаще. Поэтому целесообразно располагать скважины не за контуром ствола, а по контуру или внутри него (рис. 33). Например, если диаметр ствола в свету 6 м, диаметр окружности скважин 9 м, то при расстоянии между скважинами 2 м их число составит 14. При размещении по контуру ствола на том же расстоянии друг от друга число скважин составит 9, а внутри контура — 7. Следовательно, в последнем случае необходимое число скважин сокращается в 1,5—2 раза или число скважин может быть оставлено таким же, учитывая возможность отклонения их на глубину, но они будут располагаться чаще. Расход раствора сократится, качество цементации повысится.

Кроме того, бурение скважин за контуром ствола задерживает возведение и оснащение копра. Размещение скважин в сечении ствола позволяет выполнить бурение и цементацию после проходки устья, куда опускаются буровые станки (типа ГП-1, САБ-2, ЗИВ-150, ЗИФ-300, СБА-500 и некоторые другие) с глубиной бурения до 100—200 м. А над устьем ствола могут производиться параллельно необходимые строительно-монтажные работы.

Обычно перед началом сооружения ствола целесообразно пробурить контрольные скважины, располагаемые в сечении ствола или по контуру. С помощью этих скважин изучение гидрогеологических условий было бы более достоверным.

При наличии водоносных зон цементация скважин определенными заходками сверху вниз (в процессе бурения) или снизу вверх (после бурения) позволила бы:

заранее определить водо- и растворопоглощающую способность вскрытых трещиноватых зон;

обоснованно выбрать схему цементации (с поверхности или из забоя ствола);

правильно определить параметры будущей цементации, тампонажные растворы и режим нагнетания;

при наличии крупнотрещиноватых зон заранее их затампонировать, что предотвращает возможные прорывы воды, облегчает и ускоряет цементацию из забоя.

В конечном итоге при бурении и пробной цементации трех скважин на всю глубину ствола исключаются возможные аварии, связанные с неожиданными прорывами воды, и повысится эффективность тампонажных работ и скорость проходки стволов.

Условия применения способов тампонажа в зависимости от характера трещиноватости водоносных пород, изученного при бурении и пробной цементации разведочных скважин, представлены в табл. 15.

При способе цементации из забоя более целесообразным является установка цементационного оборудования на поверхности и нагнетение раствора в скважины по трубопроводам диаметром 25—50 мм. В Донбассе такая схема нагнетания была успешно применена сначала на вентиляционном стволе Октябрьского рудника, а затем на других шахтах. В настоящее время она получает распространение в Кривбассе, Рудном Алтае и других бассейнах.

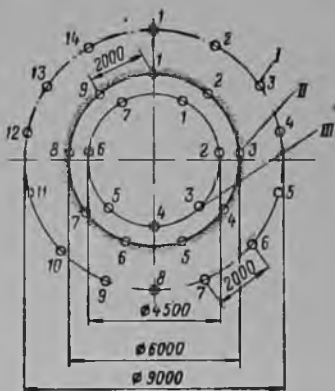


Рис. 33. Варианты размещения скважин при цементации с поверхности:

I — за контуром ствола (14 скважин);
II — по контуру ствола (9 скважин);
III — внутри контура (7 скважин)

Характер трещиноватости водоносных пород	Способ тампонажа	
	с поверхности земли	из забоя ствола
Очень крупные и крупные трещины и пустоты, опасные аварийными прорывами воды	Применяется	Применять при наличии мелких трещин или малоэффективном результате способа цементации с поверхности
Однородные крупные и средние трещины при горизонтальном и наклонном направлении	Выбирается при сравнении технико-экономических показателей	
Мелкие и тонкие трещины и породы	Не применяется	Применяется
Вертикальные и крутонаклонные трещины	Не применяется	Применяется
Крайне неоднородные трещины, а также наличие в трещинах глинистого материала	Не применяется	Применяется

В зарубежной практике схему нагнетания раствора с поверхности широко применяют. Например, на стволах шахт «Родес», «Хадден», «Саксен» раствор подавали на глубину 700 м, в ЮАР 1200 м и более.

Схема нагнетания раствора с поверхности обладает следующими достоинствами:

удобней, производительней и качественней приготовление и нагнетание раствора;

обеспечивается дополнительное давление, создаваемое весом столба раствора, в случае недостаточного давления, развиваемого насосом;

удобней и безопасней работа в забое — на освободившееся место в забое представляется возможным установить дополнительные или более мощные буровые средства для повышения скорости бурения скважин.

По технологии предварительной цементации из забоя ствола применяемой в настоящее время трестом Кривбассшахтопроход предусматривается размещение насосов высокого давления в комплексе с растворосмесительной установкой на поверхности. Трубопровод высокого давления диаметром 50 мм, соединяющий насос со скважинами, монтируется из труб с быстродействующими соединениями. В местах изгибов трубопроводов (на поверхности и в забое ствола) устанавливают шарнирные колена.

Трубопровод подвешивают на канате проходческой лебедки. Целесообразно навеску цементационного става производить одновременно с монтажом прочих трубопроводов. Необходима также радио- или телефонная связь поверхности с забоем. При нагнетании раствора по такой схеме и использовании саггрегированного ободования существенно сокращается время на подготовку и прове-

ние цементации, а также уменьшается число обслуживающего персонала

При выборе схемы нагнетания — с поверхности земли или из забоя ствола — можно руководствоваться следующими факторами:

если стволом вскрывается достаточно мощная водоносная зона со значительными притоками воды и поглощением раствора, то в таком случае выгодно нагнетание с поверхности;

если вскрываются маломощные пласты с небольшими притоками воды и невысоким растворопоглощением, к тому же при большой глубине залегания, то целесообразно цементационное оборудование устанавливать на полке, настилаемом поверх опалубки, как, например, в стволе шахты Г-1, и нагнетание производить из забоя. Раствор готовят на поверхности и к насосу на полку подают по бетонопроводу или бадьями.

2. РАСЧЕТ И ТЕХНОЛОГИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ТАМПОНАЖНЫХ ПОДУШЕК

Цементация водоносных пород осуществляется под защитой це-
ликов пород или сооружаемых тампонажных подушек.

Затраты времени на возведение, твердение и разборку подушки равны 7—15 сут и составляют 30—40% всего времени цементации.

Стоимость тампонажных подушек занимает значительную часть сметы на цементацию. Например, в Типовом проекте организации работ по предварительной цементации ВНИИОМШСа приведена сметная стоимость цементации в сумме 73 300 руб., из которых бурение скважины составляет 19 600 руб. (27%), приготовление и нагнетание раствора — 16 600 руб. (23%), а сооружение и разборка подушек — 32 600 руб. (44%).

В «Проекте организации работ по предварительной цементации пород из забоя ствола при высоких напорах подземных вод» ВНИИОМШСа при производстве цементационных работ короткими заходками приведена сметная стоимость на цементацию по прямым затратам в сумме 247,4 тыс. руб., в том числе на сооружение и разборку тампонажных подушек 162 тыс. руб., т. е. 66% общей стоимости.

Там, где проектные сроки возведения подушек не выдерживаются, фактическая стоимость их оказывается еще выше, если иметь в виду, что каждые сутки простоя ствола приносят 1000—2000 руб. и более убытка.

Способы возведения подушки определяются конкретными условиями в забое (характером трещиноватости, свойствами пород, наличием притока воды и др.). В большинстве случаев обстоятельства обуславливают необходимость сооружения тампонажных подушек и производство цементации под их защитой.

С точки зрения скорости и удобства возведения, с учетом современной технологии крепления стволов бетоном с подачей его по трубам, лучшим материалом является монолитный бетон.

Конструктивно тампонажные подушки выполняют сферическими или плоскими с передачей нагрузки на окружающие породы или на крепь ствола (с устройством вруба или без него).

В отечественной практике цементации расчет тампонажных подушек в большинстве случаев производят по формулам, предложенным Е. П. Калмыковым, исходя из контактных допустимых напряжений на границе со стенкой вруба [22, 23].

Толщина сферической подушки (рис. 34)

$$B = \frac{p_0 (r^2 + h^2)^{3/2}}{4r^2h[\sigma]} \quad (3)$$

где p_0 — максимальное давление раствора, кгс/см²;

r — радиус ствола в проходе, м;

h — высота внутренней сферы подушки, м;

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение материала подушки при сжатии, кгс/см².

Обычно $h = 0,3 r$, тогда

$$B = \frac{p_0 r}{[\sigma]} \quad (4)$$

При расчете по предельному состоянию материала толщина подушки

$$B = \frac{\lambda p_0 r}{m \sigma_{сж}}, \text{ м}, \quad (5)$$

где λ — коэффициент перегрузки;

m — коэффициент условий работы;

$\sigma_{сж}$ — расчетное сопротивление бетона сжатию во время производства цементации, кгс/см².

При расчете плоской подушки ее рассматривают как конструкцию, описывающую сферическую подушку (рис. 34). Толщина плоской подушки оказывается больше сферической на величину высоты h внутренней сферы:

$$B_{пл} = \frac{p_0 r}{[\sigma]} + 0,3r, \text{ м} \quad (6)$$

или

$$B_{пл} = \frac{\lambda p_0 r}{m \sigma_{сж}} + 0,3r, \text{ м}. \quad (7)$$

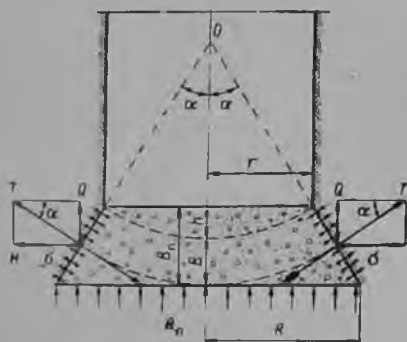


Рис. 34. Схема к расчету тампонажных подушек

При производстве цементационных работ в стволе шахты «Клетевая» рудника им. С. М. Кирова расчет тампонажных подушек производили по методу, предложенному М. З. Кагановичем.

Согласно этому методу подушка рассматривается как конструкция, состоящая из двух частей — грузонесущей и дренажной.

Грузонесущая часть — бетонный слой — рассматривается как круглая плоская толстая плита, свободно опертая или защемленная по контуру ствола и воспринимающая нагрузку от давления раствора при цементации дренажного слоя. При этом учитываются кроме сжимающих и изгибающие напряжения, развивающиеся в плите под действием нагрузки.

Толщина бетонной плиты, свободно опертой по контуру ствола (в рыхлых, слабых породах),

$$B_n \geq \frac{D}{4} \sqrt{\frac{3p'_0}{vR_{сж}}}, \text{ м.} \quad (8)$$

Толщина бетонной плиты, защемленной по контуру ствола в крепких породах,

$$B_n \geq \frac{D}{4} \sqrt{\frac{3p'_0}{v(1,6R_{сж} - p'_0)}}, \text{ м,} \quad (9)$$

где D — диаметр ствола в свету, м;

p'_0 — расчетное давление при цементации дренажного слоя, кгс/см²;

$R_{сж}$ — предел прочности бетона сжатию на момент цементации дренажного слоя, кгс/см²;

v — коэффициент неоднородности сопротивления бетона сжатию и растяжению:

$$v = \frac{R_p}{R_{сж}} = \frac{0,5}{\sqrt[3]{R_{сж}}}, \quad (10)$$

R_p — предел прочности бетона при осевом растяжении, кгс/см².

Толщину дренажного слоя обычно принимают 0,2—1 м, что не всегда обеспечивает защиту свежееукладываемой бетонной смеси от размыва водой.

В данном случае толщину дренажного слоя определяют, исходя из условия обеспечения необходимого объема для аккумуляции воды, поступающей к водоотливному насосу при вынужденной остановке его в течение 15 мин, необходимых для его технического обслуживания:

$$A = \frac{Q}{3,14\beta D_{пр}^2} + 0,25, \text{ м,} \quad (11)$$

где Q — общий приток воды в дренажную полость, м³/ч;

β — коэффициент пустотности щебеночной засыпки;

$D_{пр}$ — диаметр ствола в проходке, м.

Общая толщина тампонажной подушки по предложенному методу расчета

$$B = B_n + A \leq H_n, \quad (12)$$

$$B = B_n + A \leq 5,$$

где $H_n = 5$ м — высота всасывания подвешного насоса.

Расчетная схема подушек, по Е. П. Калмыкову, предполагает давление раствора по всей площади подушки. Поэтому нагрузка оказывается значительной. Например, на нижнюю плоскость подушки в стволе радиусом 4,5 м нагрузка при $p_0 = 50$ кгс/см² ($R = 6,8$ м) составляет $Q_1 = \pi R^2 p_0 = 72\,500$ тс, а при $p_0 = 100$ кгс/см² ($R = 8,3$ м) — $Q_1 = 217\,000$ тс. Для восприятия таких огромных нагрузок требуются мощные подушки и устройство врубов.

Как показывает опыт, действие раствора по всей площади подушки может быть только при цементации дренажного слоя; при слабых и рыхлых породах в забое, сцепление бетона с которыми незначительное; при наличии каких-либо полостей, пустот, рыхлых слоев, расположенных ниже подушки на близком расстоянии.

В случае укладки подушки на крепкие скальные породы, сцепление бетона с которыми оказывается прочным, контакт плотным, действие раствора по всей площади исключается. При скальных породах под подушкой могут быть только отдельные полости, неплотности, обусловленные некачественной укладкой бетонной смеси, размывом ее водой, поступающей из трещин, или наличием в забое глины и шлама.

Следовательно, если ограничить размер возможных полостей и неплотностей под подушкой или исключить совсем, то нагрузка на подушку значительно снизится, толщина подушки уменьшится, и ее функция будет сводиться к предотвращению прорывов раствора по отдельным трещинам. В таком случае даже самые высокие давления для подушки безопасны. Например, при $p_0 = 100$ кгс/см² и площади свободной полости, равной 1 м², нагрузка на подушку составит 1000 тс, а при площади 0,1 м² — всего 100 тс и т. д.

Устройство дренажного слоя связано с дополнительными затратами времени на выдержку подушки до цементации его (2—5 сут и после цементации (1—3 сут).

Кроме того, цементация дренажного слоя производится при наиболее неблагоприятных условиях, когда раствор действует на всю площадь подушки, а величина давления иногда оказывалась равной p_0 , принятой при цементации скважин, так как рекомендаций по этому вопросу нет. Нередко это обстоятельство приводило к разрушению подушки.

Надобность в укладке дренажного слоя может быть только в отдельных случаях, когда в забое имеются рыхлые водообильные породы или вода поступает из многочисленных трещин. В скальных породах устройство дренажного слоя в некоторых случаях можно исключить, если для этого перед укладкой подушки воду из трещин отвести по дренажным трубкам в отдельную емкость, откуда ее откачивать насосом. При этом предотвращается размыв бетонной смеси водой, истекающей из трещин.

Таким образом, рассмотренные факторы свидетельствуют о том, что расчет и возведение тампонажных подушек следует производить дифференцированно в зависимости от условий в забое ствола, которые могут быть следующими:

I. Породы в забое скальные, трещиноватые. Приток воды или отсутствует совсем, или незначительный из одиночных трещин, что позволяет заделать в них дренажные трубки и отвести воду в емкость. Сцепление бетона с породой прочное. Для лучшего контакта необходимы зачистка и обмыв водой стенок и забоя от глины и шлама. В таких условиях толщина подушки может приниматься на основе практического опыта 1—1,5 м, независимо от диаметра ствола, исходя из необходимости прочной заделки кондукторов. Вруб не разделяется.

II. Породы скальные, сильнотрещиноватые. Имеются многочисленные водоносные трещины, локализовать которые с помощью дренажных трубок невозможно. Невозможно устройство дренажного слоя. В данном случае необходимо рассчитывать толщину подушки выше дренажного слоя, исходя из максимального давления раствора p_0 при цементации дренажной полости.

Чтобы отжать воду из дренажного слоя и плотно заполнить его раствором, необходимо максимальное давление, которое бы на 30—50% превышало гидростатический напор воды, т. е.

$$p_0^* = (1,3 - 1,5) p_r. \quad (13)$$

Дренажный слой после нагнетания и затвердевания раствора должен образовать единый монолит с подушкой и обеспечить плотный контакт с забоем. Поэтому для нагнетания в дренажный слой следует использовать быстротвердеющий раствор состава 1 : 0,5 с добавкой CaCl_2 . Стенки и забой ствола должны также очищаться от шлама и обмываться водой.

III. Породы слабые, глинистые, рыхлые или сильно раздробленные, насыщенные продуктами разложения. Сцепление бетона с породой незначительное или вовсе отсутствует. Раствор способен проникать по контакту и действовать на подушку по всей площади. Приток воды отсутствует, дренажный слой не укладывается. При таких условиях подушка рассчитывается на максимальное давление p_0 при цементации скважин.

IV. Породы те же, слабо или сильно раздробленные. Раствор способен проникать по контакту и действовать по всей площади подушки. Из забоя имеется обильный приток воды, неизбежна укладка дренажного слоя. При таких условиях толщина подушки выше дренажного слоя определяется по давлению раствора p_0^1 при цементации дренажной полости. Затем общая толщина подушки (сумма толщин бетонного и зацементированного дренажного слоев) проверяется на возможность нагрузки давлением p_0 при цементации скважин, к началу которой грузонесущая способность подушки возрастет.

V. В массиве пород ниже подушки, близко к ней, имеются большие полости, обширные горизонтальные или наклонные трещины, прослойки слабых или рыхлых пород. При таких условиях давление раствора передается на всю площадь подушки. Ее толщина рассчитывается на максимальное давление раствора p_0 при цементации скважин.

Чтобы не допустить разрушения подушки при цементации дренажного слоя или скважин, необходим контроль качества бетона. Заранее следует подобрать состав бетонной смеси с требуемой подвижностью и удобоукладываемостью и определить рост прочности бетона на сжатие во времени. Полученная величина σ в определенный срок вводится в формулу для вычисления толщины подушки (независимо от расчета, заложенного в проекте).

При укладке бетонной смеси в подушку непосредственно в забое изготавливают серию контрольных образцов.

Контрольные образцы бетона испытывают на сжатие через каждые 12 ч. Возможность цементации дренажного слоя определяют, например, для сферической подушки из выражения

$$p_0 \leq \frac{B_m \sigma_{сж}}{\lambda_r} \leq (1,3 - 1,5) p_r. \quad (14)$$

Для цементации скважин

$$p_0 \leq \frac{B_m \sigma_{сж}}{\lambda_r} \leq 2,5 p_r. \quad (15)$$

Величину $\sigma_{сж}$ определяют по результатам испытания контрольных образцов.

Для наглядности рост прочности контрольных образцов и соответствующее допустимое давление раствора представляются графически (рис. 35), где наносят также линии принятых давлений при

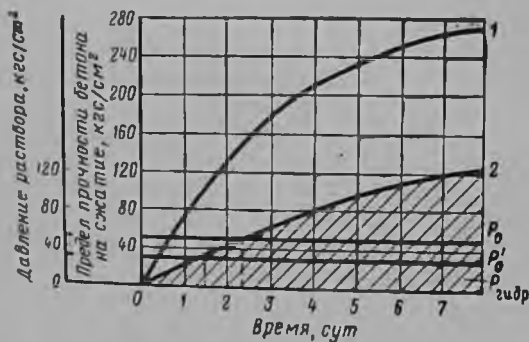


Рис. 35. Графики роста прочности бетона подушки (1) и допустимого давления раствора (2):
 p'_0 — принятое давление при цементации дренажного слоя, p_r — принятое давление при цементации скважин

цементации дренажного слоя и скважин. Точки их пересечения с кривой допустимого давления раствора обозначают сроки начала цементации. Например, из рис. 35 видно, что цементацию дренажного слоя при $p_0' = 30$ кгс/см² можно начинать через 1,5 сут после укладки бетона, а цементацию скважин при принятом давлении $p_0 = 50$ кгс/см² — через 2,3 сут. В дальнейшем, если необходимо, подушка может нагружаться большим давлением, чем 50 кгс/см², например, через 7 суток — 120 кгс/см².

С целью ликвидации возможных полостей под подушкой рекомендуется обуривать сквозь кондуктора скважины глубиной 0,5—1 м и цементировать с их помощью приконтактную зону под давлением 5—10 кгс/см².

При существующей практике для сооружения подушек применяют бетон марок 150—200. Эти марки не обосновываются ни техническими, ни экономическими соображениями.

Технические возможности позволяют готовить и использовать для подушек быстротвердеющие бетонные смеси более высоких марок — 300, 400 и более.

Применение высокомарочных быстротвердеющих бетонов целесообразно с точки зрения сокращения времени твердения подушки и, следовательно, снижения ее стоимости. Достаточно обратиться к опыту сооружения подушек в стволах шахт «Клетевая» и Г-1, чтобы увидеть очевидные преимущества. Быстротвердеющий бетон марки 300 позволял начинать бурение цементационных скважин через 12 ч после укладки, тогда как при обычном бетоне марки 150—200 дается выдержка времени не менее 3—5 сут, в течение которого ствол простаивает.

Практика показывает, что укладка бетонной смеси в подушку производится длительное время, нередко в течение нескольких суток, что отражается на ее качестве. Подушка оказывается с наслоениями, с размытыми гнездами.

Кроме того, обычная технология возведения подушек имеет и некоторые другие недостатки.

Бурение устьев скважин или долбление лунок под кондуктора и установка их занимают иногда до 2 сут. При этом часто не выдерживается задаваемое кондукторам направление. Разница в углах наклона соседних скважин в 1—2° при глубине 40—50 м приводит к дополнительному расхождению между ними на 1—2 м, что сказывается на качестве цементации.

Поэтому, помимо сокращения затрат времени за счет дифференцированного учета условий и соответствующего расчета, следует использовать другие пути ускорения возведения тампонажных подушек и повышения их качества.

Таковыми путями являются:

- применение для установки кондукторов специальной кольцевой рамы, используемой в дальнейшем для крепления буровых станков;
- применение быстротвердеющих бетонов марок 300 и выше;

мобилизация средств приготовления и транспортирования до забоя бетонной смеси;

отказ от затопления подушки после укладки бетонной смеси, достаточно ее орошения с одновременной откачкой воды, для чего водоотливные средства монтируют так, как показано на рис. 36;

разборка подушки буровзрывным способом в два приема — сначала внутри окружности скважины для образования врубной полости, затем по оставшейся площади.

Реализация изложенных рекомендаций по технологии сооружения тампонажных подушек позволит сократить затраты времени на подушку до 1,5—2 сут. Тогда и стоимость тампонажных подушек значительно снизится.

За рубежом в практике цементации известны случаи применения металлических подушек [24, 25].

Металлическая сборно-разборная подушка представляет собой сферическую конструкцию из отдельных стальных тубингов (секторов) с толщиной стенок 25—50 мм. В тубингах имеются заглушенные отверстия для скважин.

Преимущества применения сборно-разборных металлических подушек:

их можно без затруднений соорудить при любых притоках воды;

невысокая стоимость их благодаря исключению бетонных работ и многократному использованию;

ускорение работ за счет исключения времени отводимого для твердения бетона;

способность подушки сразу же после возведения воспринимать полную нагрузку.

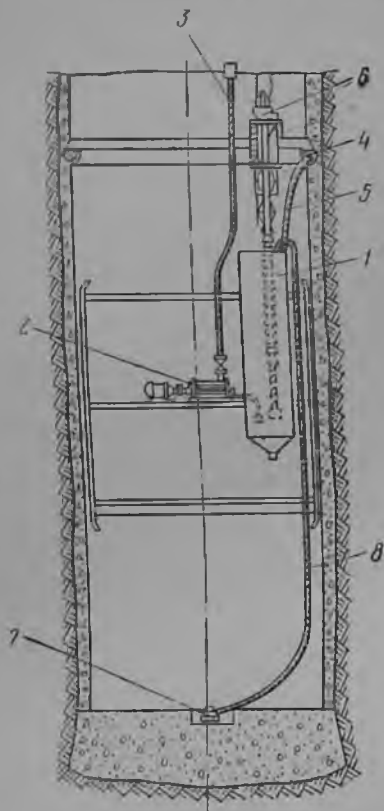


Рис. 36. Рекомендуемая схема водоотлива при цементации из забоя:

- 1 — емкость для воды объемом 3—4 м³;
- 2 — горизонтальный насос; 3 — гибкий выхлопной рукав к водоотливному стану;
- 4 — поддулаивающее кольцо;
- 5 — шланг для сброса воды из кольца;
- 6 — подвесной насос; 7 — забойный насос;
- 8 — шланг для откачки воды в емкость

3. ПАРАМЕТРЫ УЧАСТКА ЦЕМЕНТАЦИИ. ВЫБОР БУРОВЫХ СРЕДСТВ

При проектировании сетки цементационных скважин приходится решать противоречивые вопросы. С одной стороны, чем больше число скважин, тем меньше вероятность пропуска водоносных трещин, следовательно, выше качество цементации. С другой стороны, с повышением числа скважин возрастают стоимость и сроки буровых работ, тогда как и без того бурение занимает 50—80% всего времени цементации. Ускорение цементационных работ может быть достигнуто в первую очередь за счет сокращения времени бурения.

Основными вопросами, которые должны быть решены при проектировании сетки скважин для цементации, являются: выбор диаметра скважин и буровых средств; наклон и число скважин; глубина скважин.

Выбор диаметра скважин и буровых средств. История развития цементации показывает, что в начальный период диаметр скважин составлял 140—150 мм при числе их 6—8. В дальнейшем это было признано нецелесообразным и перешли на бурение 20—25 скважин при диаметре 40—50 мм. Потом диаметр был снижен до 36 и даже до 32 мм.

В отечественной практике цементации скважины бурили станками КА-2М-300 и КАМ-500 с коронками диаметром 56—116 мм, а также станком ГП-1 с коронками диаметром 36—66 мм. При появлении комплексов цементации КЦТ-1 м скважины бурили с помощью колонковых перфораторов КЦМ-4 и КС-50 коронками диаметром 55—65 мм.

В последние годы широкое применение для бурения скважин получил станок НКР-100 с коронкой диаметром 105 мм, а также станок ЗИФ-300 с коронкой диаметром 75—150 мм.

Трестом Кривбассшахтопроходка с 1962 г. для бурения цементационных скважин используется универсальный буровой полуавтомат НКР-100м в комплекте с пневмоударниками П-1-75 или М-1900. Для безопасности и надежности работы в условиях повышенной влажности станок оборудуют пневмоприводом.

Оптимальная глубина исходящих вертикальных скважин при бурении станком НКР-100м находится в пределах 35—40 м, а максимальная — достигает 52 м.

Каким же критерием следует руководствоваться при выборе типа станка и диаметра цементационных скважин?

Как известно, механическая скорость бурения изменяется обратно пропорционально квадрату диаметра скважины. Следовательно, с его увеличением время и трудоемкость бурения возрастают. С уменьшением диаметра, наоборот, скорость возрастает, а время, трудоемкость и стоимость бурения снижаются.

Например, для станка АБВ-1 норма бурения на глубину 30 м составляет при коронке диаметром 105 мм — 6 м/смену, 65 мм —

8,7 м/смену. Соответственно для перфоратора КС-50—2,3 и 5,8 м/смену.

Практика цементации уже выработала руководящий принцип выбора диаметра скважин: для повышения качества цементации, сокращения времени и стоимости буровых работ целесообразней бурить большее число скважин малого диаметра, чем меньшее число их большого диаметра.

Такой принцип позволяет достигать высоких скоростей бурения; при тех же или меньших затратах быстрее обуривать большее число скважин и гарантировать успех цементации; применять в забое легкие буровые машины и в большем числе.

С этих точек зрения применение станков с большим диаметром коронок, как, например, НКР-100 и ЗИФ-300, неэкономично.

На практике иногда применяют не только недостаточно эффективные станки, но и в недостаточном количестве. В забое работает один станок и редко два. Поэтому бурение оказывается длительным, что нередко заставляет исполнителей сокращать число скважин, тем самым снижая эффект цементации, хотя имеющиеся буровые средства позволяют организовать производительное бурение. Например, станок ГП-1 с электрическим двигателем в условиях обводненного забоя обеспечивает малую производительность. Часто выходит из строя электрическая часть. Станок работает в жестком режиме, что приводит к поломке бурового инструмента и некоторых деталей.

При оборудовании станка ГП-1 пневматическим приводом мощностью 5—10 л. с. и коронками сплошного разрушения типа РКС (см. рис. 22) эффективность бурения возрастает. Из табл. 16 видно, что при электродвигателе простой по различным причинам составляли 32% общего времени бурения, а производительность — 4,4 м/смену. При пневматическом двигателе и коронках РКС простой снизился до 15%, а производительность бурения возросла до 10 м/смену.

Для технико-экономической оценки средств бурения цементационных скважин можно использовать показатель эффективности бурения

$$П = \frac{v_{см}}{C}, \quad (16)$$

где $v_{см}$ — средняя сменная производительность станка в данных породах при максимальной глубине бурения, м/смену;

C — стоимость бурения 1 м скважины в данных породах при максимальной глубине, руб.

Этот показатель учитывает технические возможности станка, стоимость, диаметр скважин, крепость пород и другие факторы.

В табл. 17 представлены показатели $П$, подсчитанные для некоторых станков при глубине бурения 30 м по породам с $f=8÷12$.

Направление и число скважин. Практика показывает, что при проходке ствола в зацементированной зоне остаточные источники

Таблица 16

Показатели	Условия для сравнения	
	4 станка ГП-1 с электроприводом, коронки кольцевые диаметром 46 и 42 мм (II участок цементации)	4 станка ГП-1 с пневматическим приводом, коронки РКС диаметром 46 и 42 мм (VI участок цементации)
Объем бурения, м	1574	1245
Затраты времени на бурение, машино-смен	355,4	120
Производительность бурения, м/смену	4,4	10,4
Простой по техническим причинам, машино-смен	112,5	18
в том числе:		
отсутствие электроэнергии	21,5	—
ремонт электродвигателей	16,5	—
ремонт пусковой аппаратуры	2,5	—
ремонт шпинделя	17,5	0,5
прихват инструмента	34	13,5
прочие	20,5	4
Простой по техническим причинам в общем времени бурения, %	32	15

Таблица 17

Буровые станки	Диаметр коронок, мм	Средняя производительность, м/смену	Стоимость бурения 1 м скважины, руб	Показатель эффективности бурения
КС-50 (КЦМ-4)	65	3,8	3,84	1
НКР-100 (БА-100)	105	10,6	8,3	1,3
ГП-1	46—40	11,5	3,9	3
БУ-70 (ПК-65)	70—60	24	2,0	12

воды встречаются, как правило, в стенках ствола за контуром окружности скважин. Это может быть объяснено следующими причинами. При вертикальном направлении скважины по всей глубине располагаются на расстоянии 0,8—1 м от контура ствола в проходке. Они могут не пересечь пережатые или выклинившиеся водоносные трещины, которые потом вскрываются забоем. В трещинах часто бывает глинистый материал или породная крошка, препятствующие распространению раствора.

При ведении взрывных работ в стволе недостаточная цементационная завеса нарушается, трещины обнажаются и пропускают воду.

Независимо от направления трещин цементационным скважинам следует задавать наклон и выпускать их за контур ствола.

Если скважины бурят наклонно, в большинстве случаев наклон задают в радиальном направлении или одновременно в радиальном и тангенциальном направлениях (рис. 37).

Однако анализ показывает, что более целесообразным является наклон скважины только в тангенциальном направлении.

Вертикальная пачка пород, пересекаемая каждой скважиной в контуре ствола, при тангенциальном наклоне (рис. 37, б) в 2,5–3

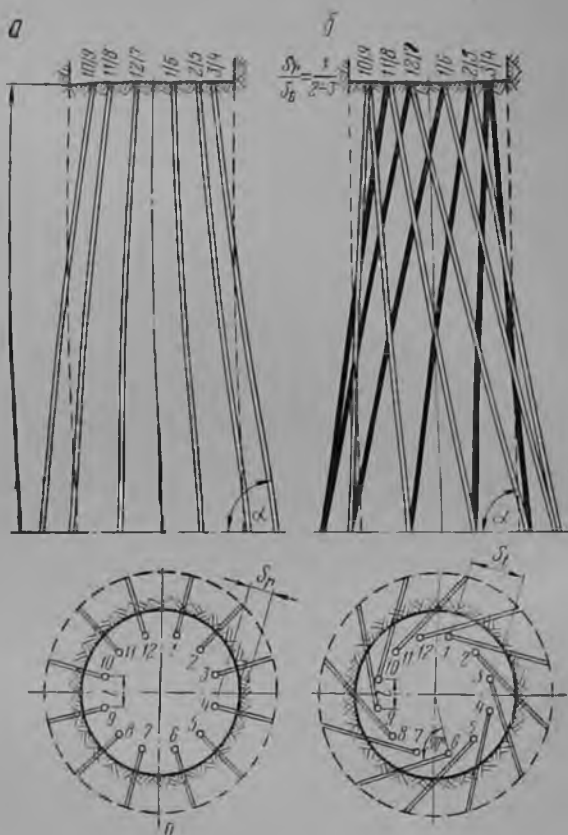


Рис. 37. Схема расположения и направления цементационных скважин при радиальном и тангенциальном наклонах

раза толще, чем при радиальном (рис. 37, а). Соответственно повышается вероятность пересечения возможных трещин.

Кроме того, при радиальном наклоне проявляется уязвимость сетки скважин в том смысле, что возможен пропуск трещин в любом из диаметральных направлений. Рассмотрим случай, когда вертикальная трещина пересекает ствол по направлению mn . При радиальном наклоне скважины не пересекут такую трещину.

При тангенциальном наклоне плоскость трещины mn пересекается двумя скважинами в точках 1 и 2. Следовательно, при тангенциальном наклоне снижается возможность пропуска трещины в любом из направлений.

Для определения необходимого числа цементационных скважин некоторые авторы предлагают метод расчета, заимствованный из области цементации рыхлых грунтов. Применительно к песчаногравелистым грунтам, отличающимся определенными закономерностями, отечественные и зарубежные авторы предложили расчетные зависимости для определения радиуса цементации и, следовательно, числа скважин. Эти зависимости построены на основе ряда допущений и отклонений от естественных условий. Но в натуре они дают результаты, в определенной степени приемлемые для практики.

В практике цементационных работ в Кривбассе число скважин определяют по формуле

$$N = \frac{\pi D_{\text{пр}}}{l}, \quad (17)$$

где $D_{\text{пр}}$ — диаметр ствола в проходке, м;

l — расстояние между скважинами по контуру ствола в проходке, м.

При обычной трещиноватости пород величину l принимают в пределах 1,5—2 м. При сильно развитой и неоднородной трещиноватости с присутствием в трещинах продуктов разложения скважины сгущают до $l=1$ м (рис. 38).

В особо сложных условиях расстояние между скважинами принимают менее 1 м.

Если при бурении и цементации из принятого числа скважин последние 25—30% окажутся сухими и примут незначительный объем раствора, то проектное число скважин считается оптимальным. При соблюдении других требований технологии цементации проектное число скважин гарантирует полное водоподавление. Если таких скважин окажется больше или меньше, чем 25—30%, то на последующих участках число скважин соответственно уменьшается или увеличивается.

Число цементационных скважин не является постоянным и неизменным, поскольку условия цементации не являются стабиль-

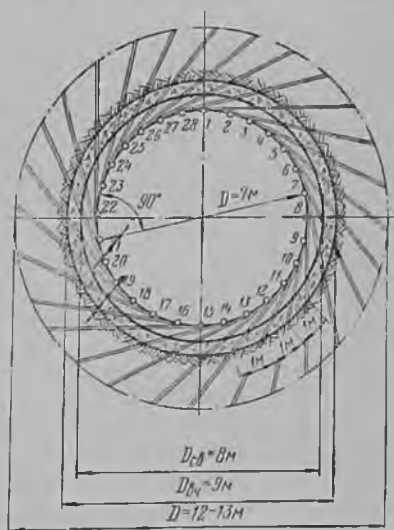


Рис. 38. Схема расположения скважин при сложной трещиноватости и наличии глинистого заполнения

ными и закономерными. От участка к участку число скважин может изменяться в зависимости от конкретных условий, выявляемых при цементации и проходке.

Глубину скважин (участка цементации) в настоящее время принимают 30—50 м. В зарубежной практике известны участки цементации глубиной до 76 м. В Донбассе при сооружении вентиляционного ствола шахты «Октябрьский рудник» комбината Донецкуголь была испытана новая схема цементации из забоя на глубину до 300 м при бурении скважин станком ЗИФ-300.

Исходя из минимально допустимой скорости движения раствора по скважинам, была предложена формула для определения их глубины [29]

$$l_0 = \frac{225v_1 d^2 \eta}{a \delta^2 (\gamma_1 - \gamma_2) R} \quad \text{м}, \quad (18)$$

где v_1 — скорость движения раствора по скважине, м/с;

d — диаметр скважины, м;

a — объем пустот в породе, %;

η — абсолютная вязкость воды, равная $\frac{1}{9810} \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$,

δ — средний диаметр частиц цемента, м;

γ_1 — удельный вес цемента, кгс/м³;

γ_2 — удельный вес воды, кгс/м³;

R — расстояние от скважины, при котором начинается выпадение цемента, м.

При рассмотрении этой формулы выявляется, что величина l_0 зависит от производительности цементационного насоса, которая определяет значение $d^2 v_1$, так как

$$Q_{\text{нас}} = \frac{\pi d^2}{4} v_1.$$

В случае применения насоса ЗИФ-200/40, имеющего производительность 3,3 л/сек, глубина скважины зависит от диаметра ее и составляет 10—25 м. Взяв насос производительностью в 2—3 раза выше, можно увеличить глубину скважин до 30—75 м.

При использовании стабильных цементационных растворов (в частности, глино-цементных, цементно-силикатных), имеющих высокий выход тампонажного камня, фактор расслаивания и кальматации скважины исключается. Тогда глубину скважин следует рассматривать в зависимости от технико-экономических факторов.

С одной стороны, глубину участка цементации (скважин) желательно увеличить, с тем чтобы сократить непроизводительные затраты времени, связанные с сооружением подушки и подготовительно-вспомогательными работами. Но, с другой стороны, с увеличением глубины участка производительность буровых станков снижается, объем разбуривания скважины повышается, а общее время, затрачиваемое на цементацию участка, возрастает. Очевидно, имеется оптимальная глубина участка, при которой затраты времени на це-

ментацию оказываются наименьшими. Исходя из такой предпосылки, авторами предложен следующий метод определения оптимальной глубины участка цементации [30].

Полное время цементации $T_{ц}$ складывается из затрат времени на возведение, твердение и разборку подушки $T_{п}$, на бурение и разбуривание скважины $T_{б}$, на нагнетание цементационного раствора $T_{н}$ и выполнение подготовительно-вспомогательных работ $T_{в}$:

$$T_{ц} = T_{п} + T_{б} + T_{н} + T_{в}, \text{ сут.} \quad (19)$$

Для оценки и сопоставления скорости цементационных работ вводят показатель — удельное время цементации $t_{ц}$. Этот показатель означает время цементации, отнесенное к 1 м зацементированного участка, и определяется выражением

$$t_{ц} = \frac{T_{ц}}{h} = \frac{T_{п}}{h} + \frac{T_{б}}{h} + \frac{T_{н}}{h} + \frac{T_{в}}{h}, \text{ сут/м} \quad (20)$$

или

$$t_{ц} = \frac{T_{п} + T_{в}}{h} + \frac{aN}{zn(v_{н} - bh)} + \frac{q}{zq_{н}}, \text{ сут/м}, \quad (21)$$

где q — расход раствора на 1 м ствола, м^3 ;

$q_{н}$ — производительность нагнетания раствора, $\text{м}^3/\text{смену}$.

Глубина участка, соответствующая минимальной точке кривой $t_{ц}$ будет являться оптимальной, когда удельные затраты времени на цементацию окажутся наименьшими (рис. 39).

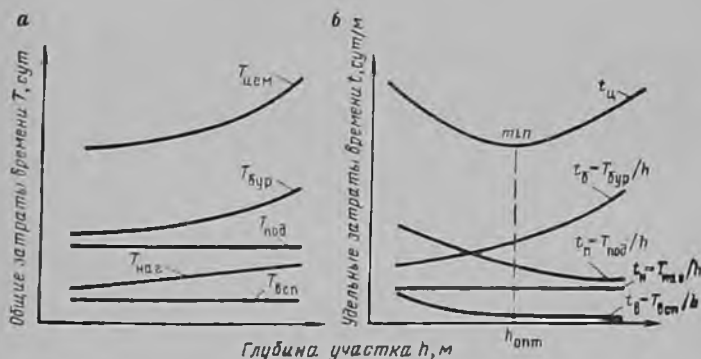


Рис. 39. График зависимости затрат времени на цементацию от глубины участка (T — общие затраты; t — удельные затраты)

Оптимальная глубина участка

$$h_{оп} = \frac{v_{н} \left(\sqrt{\frac{aN}{zn} - bT} - bT \right)}{b \left(\frac{aN}{zn} - bT \right)}, \text{ м}, \quad (22)$$

где v_n — производительность бурения в начале работы, м/смену;
 a — коэффициент, учитывающий увеличение времени буровых работ за счет разбуривания скважин и изменяющийся в пределах 1—1,5;

N — число скважин;

z — принятое число рабочих смен в сутках;

n — число работающих в забое буровых станков;

b — коэффициент, характеризующий интенсивность снижения производительности бурения с увеличением глубины скважины;

$$b = \lg \beta = \frac{v_n - v_k}{h_k - h_n}, \quad (23)$$

где v_n , v_k и соответствующие им h_n , h_k указываются в справочниках как начальные и конечные величины производительности и глубины бурения для данного станка и данной крепости пород (рис. 40).

В табл. 18 в качестве примера представлен ряд значений $h_{оп}$ и $l_{ц}$, рассчитанных по выведенным уравнениям.

Из данных табл. 18 видно, что в обычных условиях цементации оптимальные глубины участков (скважин) находятся в пределах

Таблица 18

Буровые станки	Принятые значения										
	Число станков	Число смен	$T_n + T_b = T$	число скважин N	v_n , м/смену	v_k , м/смену	$b = \lg \beta$	q , м ³ /м	q_R , м ³ /см	$h_{оп}$, м	$l_{ц}$, сут/м
НКР-100	1	3	5+2=7	18	7,2	5,6	0,035	6	12	33	1,46
	2	3	5+2=7	18	7,2	5,6	0,035	6	12	44	0,31
	1	3	7+3=10	18	7,2	5,6	0,035	6	12	38	1,55
	1	3	7+3=10	8	7,2	5,6	0,035	6	12	53	0,89
АБВ-1 БУ 70 (ПК-65)	2	3	5+2=7	18	12,6	7,6	0,127	6	12	32,5	0,77
	1	3	5+2=7	18	33,7	20	0,275	6	12	32,5	0,66
	2	3	5+2=7	18	33,7	20	0,275	6	12	52	0,48
	2	3	7+3=10	18	33,7	20	0,275	6	12	60	0,53
	2	3	2+1=3	18	33,7	20	0,275	6	12	41,5	0,39
	2	3	2+1=3	30	33,7	20	0,275	6	12	34,5	0,48
БУ-70	3	3	2+1=3	18	33,7	20	0,275	6	12	47	0,34
	4	3	2+1=3	30	33,7	20	0,275	—	—	44	0,20
ГП-1	4	3	2+1=3	30	12,6	10	0,05	—	—	49	0,33
ЗИФ-300	2	4	7+3=10	12	3,7	3,5	0,004	6	12	125	0,76
	1	4	7+3=10	12	3,7	3,5	0,004	6	12	92	1,24
	1	4	7+3=10	18	3,7	3,5	0,004	6	12	77	1,76

35—60 м. При использовании станков ЗИФ-300, предусматриваемых для бурения скважин на глубину 200—300 м, $h_{\text{оп}}$ оказывается в пределах 77—125 м.

Удельное время цементации при использовании станков ГП-1 и БУ-70 составляет 0,2—0,66 сут/м. При применении станков НКР-100 величина $t_{\text{ц}}$ равна 0,81—1,55 сут/м. Станки ЗИФ-300 ввиду малой производительности показывают наибольшее удельное время — 0,76—1,76 сут/м, а при глубине 300 м — 2,14 сут/м. Это свидетельствует о нецелесообразности схемы цементации из забоев стволов участками по 200—300 м.

Величина удельного времени цементации позволяет сопоставить различные варианты оснащения буровыми средствами и выбрать тот, который обеспечивает наименьшее значение $t_{\text{ц}}$, так как с его уменьшением скорость проходки ствола возрастает.

Скорость проходки ствола с учетом цементации

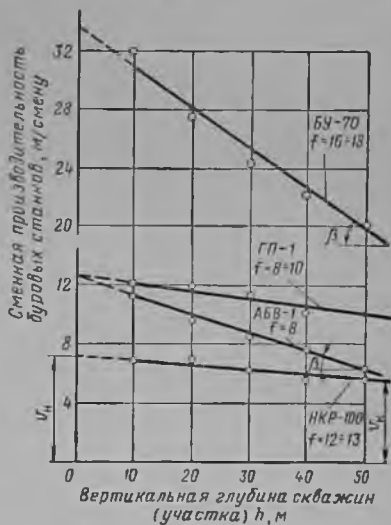


Рис. 40. Графики изменения сменной производительности буровых станков в зависимости от глубины скважин при различной крепости пород

$$v_{\text{ц}} = \frac{25v_{\text{об}}}{(t_{\text{ц}}v_{\text{об}} + 1)}, \text{ м/мес}, \quad (24)$$

где 25 — число рабочих дней в месяц;

$v_{\text{об}}$ — скорость цементации обычным способом, м/сут.

Это выражение показывает, что для повышения скорости проходки ствола с помощью цементации, например, в два раза необходимо снизить удельное время цементации в четыре раза.

Для достижения скорости проходки 25—30 м/мес необходимо снизить удельное время цементации до 0,3—0,5 сут/м при условии суточного подвигания забоя в 2 м. Если снизить удельное время цементации до 0,15—0,2 сут/м, то скорость проходки составит 36—46 м/мес.

Опыт цементации в стволе шахты Г-1 показал преимущества организации бурения скважин по усовершенствованной технологии. В клетевом стволе шахты «Таловская» на бурение 120 м скважины затратили 4,8 сут, на нагнетание раствора — 3,5 сут (всего 8,3 сут). В вентиляционном стволе шахты им. С. М. Кирова буровые работы в объеме 948 м (из них по породе 380 м, по цементному камню 568 м) при бурении одним станком ГП-1 заняли 26 сут, нагнетание раствора — 19 сут (всего 45 сут). Суточная скорость

бурения и цементации скважин составила на шахте «Таловская» 14 м, на шахте им. С. М. Кирова 21 м, тогда как при использовании четырех станков ГП-1 суточная скорость бурения и цементации в среднем составила 120—150 м.

При таких скоростях бурения возможно выполнить цементацию участка глубиной 40—50 м даже при 25—30 скважинах за 10—12 сут.

Можно считать, что средняя скорость проходки стволов с помощью цементации 25—30 м/мес в настоящее время является реальной.

4. ОЦЕНКА И ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ТАМПОНАЖНЫХ РАСТВОРОВ

В табл. 19 указаны границы применения известных тампонажных растворов в зависимости от целей тампонажа и характера трещиноватости и пористости пород.

В табл. 20 приведены общие свойства применяемых тампонажных растворов [12, 31].

Из табл. 20 следует, что из 12 показателей растворы имеют удовлетворительные свойства в основном по 7 показателям — водоустойчивости, подвижности, безусадочному твердению, агрессивной стойкости, водонепроницаемости камня, доступности и экономичности. Некоторые из этих качеств имеют значение только в определенных условиях. Например, агрессивная стойкость необходима при агрессивных подземных водах и требования к агрессивной стойкости не могут распространяться на все условия.

Экономичность растворов в деле зависит не столько от стоимости самих растворов, сколько от правильности выбора и использования их. Стоимость сухого материала не является главной, потому что он разбавляется водой. Это имеет существенное значение. В каком бы количестве воды не растворяли 1 кг цемента, в конечном итоге получается практически один и тот же объем твердого осадка (камня).

Химические материалы, наоборот, растворяются в воде полностью. Вовлекая воду в структурообразование, они образуют твердый продукт в объеме всего раствора. Поэтому стоимость единицы такого продукта снижается пропорционально количеству вводимой воды. Кроме того, химические растворы обладают высокой проникающей способностью. Следовательно, при их применении требуется бурить меньше скважин. Сроки твердевания химических растворов регулируются в пределах 5—60 мин, что позволяет сократить до минимального значения объем используемой смеси и затраты на ее приготовление и нагнетание. В конечном итоге химические растворы в деле оказываются не намного дороже цементных. Например, стоимость сухого порошка материала АМ-9 превышает в несколько десятков раз стоимость цемента, а стои-

Границы применения различных тампонажных растворов

Цель инъекции	Породы						
	скальные породы с большими пустотами и трещинами	скальные породы с небольшими пустотами и трещинами	скальные породы сильно раздробленные, обрушающиеся, с глинистым заполнением трещин	скальные породы тонкотрещиноватые и пористые (устойчивые)	гравий крупный, песок диаметром 1 мм	песок от крупного до среднего размера диаметром 0,2 мм	песок от среднего до мелкого размера диаметром 0,1 мм
Уплотнение пород (гидроизоляция)			Химические растворы			Битумная эмульсия	
						Химические растворы	
			Цементные растворы		Глино-химические растворы		
			Глино-цементные растворы	Глино-цементные растворы	Цементные растворы		
			Цементно-песчаные и глиноцементные растворы		Глино-цементные растворы		
					Глино-цементные растворы		
Упрочнение пород			Цементные растворы		Химические растворы		
			Химические растворы				
			Битумная эмульсия				

Показатели	на основе цемента	
	цементные	глино-цемент- ные
Выход тампонаж- ного камня	10—65% при $B/C > 1$	95—98%
Проникающая способность	Низкая	Низкая
Начало схваты- вания	9—13 ч	2—4 ч
Стабильность	Крайне не- устойчивые	Устойчивые
Механическая прочность камня	Высокая	Различная
Подвижность	Подвижные	Достаточно подвижные
Водоустойчи- вость	Устойчивые	Устойчивые
Усадка при твер- дении	Незначи- тельная	Незначи- тельная
Водопроницае- мость камня	Достаточно плотный	Плотный
Агрессивная стойкость камня (продукта реакции)	Достаточно устойчивый	Устойчивый
Доступность ма- териала	Легко дос- тупный	Доступный
Экономичность (стоимость 1 м ³ камня в деле)	1	0,6—0,8

Таблица 20

Тампонажные растворы

песчано-цемент- ные	химические		
	силикатные (одно- растворные)	полимерные	глино-химические
95—98%	До 100%	100%	До 100%
Очень низ- кая	Высокая	Очень высокая	Хорошая
3—5 ч	Регулируется от 5 мин до 4 ч	Регулируется от 5 мин до 1,5 ч	Регулируется от 5 мин до 4
Неоднород- ная смесь	Однородные ра- створы	Однородные ра- створы	Устойчивые
Высокая	Низкая	Различная	Низкая
Малопод- вижные	Высокая	Высокая	Подвижные
Устойчивые	Устойчивые	Устойчивые	Устойчивые
Незначи- тельная	Незначительная	Безусадочный	Незначительная
Достаточно плотный	Плотный	Плотный	Плотный
Достаточно устойчивый	В щелочной среде ограничена	Устойчивый	В щелочной среде ограничена
Легко дос- тупный	Ограниченной доступности	Дефицитный	Ограниченной доступности
0,6—0,8	1,5—2	1,5—2	1,5—2

мость работ при его применении всего в 1,5—2 раза превышает стоимость цементации [31].

По остальным пяти показателям таблицы тампонажные растворы имеют существенное различие. Цементные растворы по сравнению с другими обладают в большей мере неудовлетворительными показателями. Выход тампонажного камня из них составляет 10—65% и менее в зависимости от водоцементного отношения, в то время как из других растворов — 95—100%. Начало схватывания оказывается длительным, (9—13 ч по сравнению с 2—5 ч для прочих растворов). Хотя проникающая способность цементных растворов выше, чем цементно-песчаных и глино-цементных, она все же ограничена. Ее ограниченность вызывается присутствием твердых частиц и крайней неустойчивостью цементной суспензии.

С уменьшением величины выхода камня количество раствора для заполнения трещины возрастает. В табл. 21 приведен минимальный объем цементного раствора для заполнения трещин объемом 1 м³ в зависимости от величины выхода камня.

Фактический расход раствора вследствие длительности сроков схватывания и особенности самого процесса цементации оказывается гораздо выше запроектированного, так как раствор распространяется далеко за пределы необходимой зоны.

Анализируя результаты, полученные при проведении цементационных работ, можно видеть, насколько нерациональным иногда оказывается расход цемента из-за недостатков цементного раствора. Например, на цементацию зоны в 280 м в скнповом стволе шахты «Красная Звезда» было израсходовано 2900 т цемента (или 10 т на 1 м ствола) [20]. В вентиляционном стволе шахты «Полысаевская» на цементацию зоны в 106 м израсходовали цемента 2770 т (или 26 т на 1 м ствола) [15]. В первом случае объем раствора составил 4400 м³, во втором — 6000 м³.

Несмотря на указанные недостатки, цементные растворы на практике имеют наиболее широкое применение. Это объясняется наличием цемента на каждом объекте и простотой приготовления раствора.

Недостатки цементных растворов делают невозможным заполнение трещин в одно нагнетание. Приходится в 2—5 раз нагнетать раствор в одну и ту же заходку. А это обуславливает, в свою очередь, большие объемы перебуривания по затвердевшему раствору и затраты времени. Этими факторами объясняются часто встречающиеся в литературе сведения такого характера:

«...при первом нагнетании скважины приняли 472,85 т цемента.

Таблица 21

Состав цементного раствора (Ц : В)	Выход камня, %	Потребное количество раствора, м ³
1:1	64	1,56
1:2	38	2,64
1:3	27	3,70
1:4	21	4,76

После перебуривания было проведено повторное нагнетание, при котором скважины еще поглотили 119,2 т цемента» [7].

«12 скважины глубиной 12 м дали общий приток воды 136 м³/ч. После нагнетания цемента и разбуривания приток воды из них составил 11,6 м³/ч» [7].

«16 открытых скважины дали общий приток воды 218 м³/ч. После цементации и разбуривания приток воды из них снизился до 44,7 м³/ч» [7].

Добавки в тампонажные растворы

Свойства цементных растворов могут изменяться и регулироваться путем введения химических добавок или минеральных примесей.

Хлористый кальций в отечественной практике получил широкое применение в качестве ускорителя схватывания и твердения растворов (рис. 41) [3]. В растворах при В/Ц > 2 эффективность влияния хлористого кальция снижается. Это объясняется тем, что обычно рекомендуется вводить его в количестве 3—5% от веса цемента. При увеличении В/Ц содержание в растворе цемента уменьшается, следовательно, уменьшается и содержание хлористого кальция.

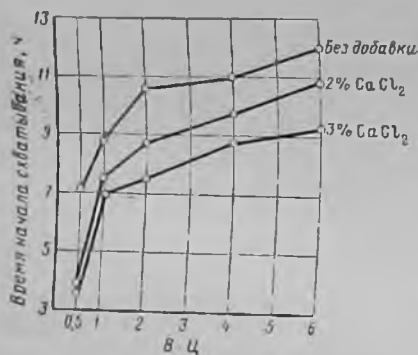


Рис. 41. График зависимости времени начала схватывания цементного раствора от В/Ц при различном содержании хлористого кальция

Бентонит (бентонитовая глина) является ценной минеральной примесью к цементным растворам и для получения сложных тампонажных смесей. С помощью бентонита изменяются сразу несколько

свойств растворов. Он служит как заполнитель и пластификатор, используется для повышения выхода тампонажного камня, уменьшения распыла и усадки, повышения водонепроницаемости и улучшения прокачиваемости растворов.

Бентонит вводят в раствор чаще всего в виде суспензии и иногда в виде тонкомолотого порошка.

По имеющимся данным, в зарубежной практике также рекомендуется использовать бентонит в виде суспензии. При этом его расход может быть уменьшен наполовину по сравнению с добавкой в виде сухого порошка.

Содержание в растворе бентонита может достигать 25—50% от веса цемента.

Обстоятельные исследования влияния способа введения бентонита на свойства цементационных растворов были проведены во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева [33].

Полученные данные исследований подтверждают целесообразность введения в раствор готовой суспензии.

Например, на рис. 42 приведен распыл раствора при добавке суспензии бентонита (рис. 42, а) и сухого порошка (рис. 42, б),

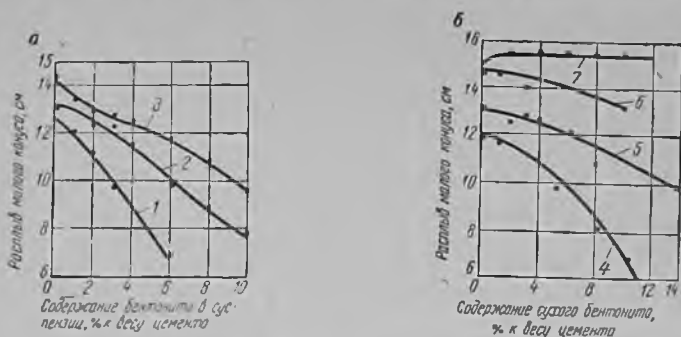


Рис. 42. Распыл цементного раствора при содержании бентонита в виде:

а — суспензии; б — порошка (1 — В : Ц = 1, 2 — В : Ц = 1,5; 3 — В : Ц = 2; 4 — В : Ц = 0,7; 5 — В : Ц = 1; 6 — В : Ц = 1,5; 7 — В : Ц = 2)

откуда видно, что влияние суспензии проявляется более эффективно. При введении бентонита в раствор с В/Ц=2 в виде суспензии в количестве от 0 до 10% распыл в конуса изменяется от 14 до 9 см, а введение сухого порошка в количестве до 12% на распыл не сказывается.

На рис. 43 приведены зависимости величины осадка раствора (выхода камня) от количества бентонита. В растворе с В/Ц=2

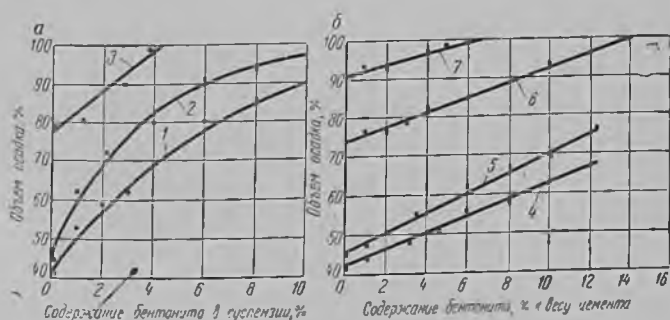


Рис. 43. График зависимости величины осадка цементационного раствора от количества введенного бентонита

при введении суспензии бентонита в количестве от 0 до 5% выход камня увеличивается от 40 до 75%. При таких же добавках сухого порошка выход камня увеличивается до 50%.

На рис. 44 представлен процесс образования осадка в зависимости от содержания бентонита при разных способах введения. Из рисунка следует, что при введении суспензии процесс осажде-

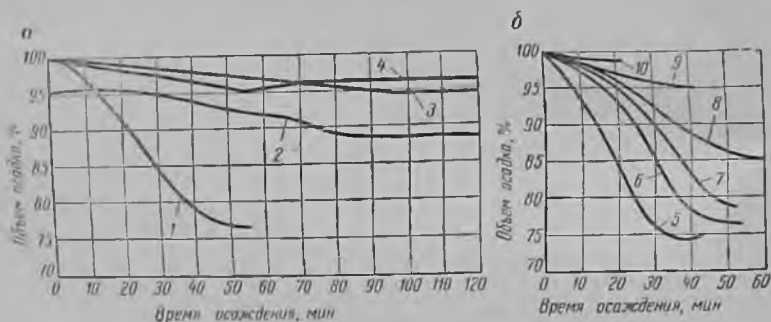


Рис. 44. Образование осадка из раствора ($B/C=1$) во времени при различном содержании бентонита при введении его в виде:

а — суспензии; б — порошка (1 — $B=0$; 2 — $B=2\%$; 3 — $B=3\%$; 4 — $B=4\%$; 5 — $B=0$, 6 — $B=2\%$; 7 — $B=3\%$; 8 — $B=8\%$; 9 — $B=10$; 10 — $B=14\%$)

ния протекает на 0,5—1 ч дольше, чем при введении сухого бентонита, т. е. суспензия бентонита придает раствору устойчивость против расслоения.

На рис. 45 представлены графики скоростей седиментации раствора в зависимости от способа введения бентонита. Из графиков видно, что при $B/C=2$ скорость осаждения частиц цемента при введении 10% сухого бентонита уменьшается в 6 раз, в то время как введение такого же количества суспензии вызывает

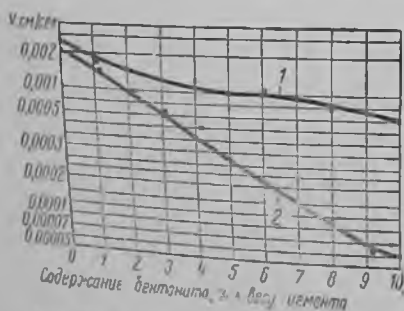


Рис. 45. График зависимости скорости седиментации цементного раствора при введении бентонита ($B/C=2$) в виде: 1 — сухого порошка, 2 — суспензии

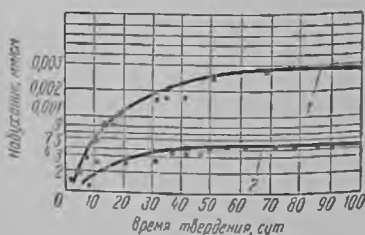


Рис. 46. График зависимости величины набухания цементного камня от срока твердения при введении 4% сухого бентонита (1) и в виде суспензии (2)

уменьшение скорости почти в 28 раз. С точки зрения качества цементации растворы, обладающие низкой скоростью седиментации, лучше. Таким образом, приведенные данные свидетельствуют в пользу применения бентонита в виде суспензии.

Сухой порошок вызывает набухание образцов раствора в 10 раз большее чем суспензия бентонита (рис. 46). Но если учесть абсолютные значения набухания — 0,03 мм/см и 0,0004 мм/см, то оказывается, что такая величина набухания, как 0,003 мм на 1 см высоты образца, при выходе тампонажного камня 40—80% практического значения не имеет.

Алюминат натрия является эффективной химической добавкой в цементные растворы. При этой добавке сокращаются сроки схватывания, увеличивается выход камня, придается седиментационная устойчивость, уменьшается водоотделение [34].

Так как изыскание или производство алюмината натрия представляют определенные трудности, в тресте Кривбассшахтопроходка была предложена и исследована добавка (ОЭС) в цементационные растворы, широко применяемые при торкретировании горных выработок. Добавка ОЭС представляет тонкомолотый спек алюмината и феррита натрия. Содержание в ней алюмината натрия составляет 56%.

Химический состав добавки ОЭС

Fe	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	п.п.п.
7,8	1,54	11,15	21,2	1,40	12,85	13,90	0,72	11,14	25,73

Действие алюмината натрия объясняется быстрым выделением в цементном растворе коллоидальных продуктов, вызывающих особый характер структурообразования камня.

В табл. 22 представлены показатели цементационных растворов с добавками ОЭС.

Как видно из представленных данных, действие добавки ОЭС наиболее эффективно проявляется при составах раствора 1:1—1:1,5. В несколько раз сокращаются сроки схватывания, выход камня повышается до 90—100%. При большем содержании воды эффективность ОЭС снижается.

Применение для нагнетания цементных растворов с добавкой ОЭС позволяет сократить время цементации и трудовые затраты, снизить расход цемента и стоимость тампонажных работ. По сравнительным подсчетам экономия от применения цементационных растворов с добавкой ОЭС при цементации 1 и 2 заходок в стволе шахты № 2 «Вентиляционная» в Кривбассе составила 19,5 тыс. руб.

В том же стволе цементация пород 3 и 4 заходок из-за отсутствия необходимого количества добавки производилась обычными

Таблица 22

Вид цемента	Состав раствора (Ц : В)	Добавка ОЭС, % от веса цемента	Сроки схватывания ч.-мин		Выход камня, %	Предел прочности на сжатие (кгс/см ²) в возрасте, сут		
			начало	конец		1	7	28
Новороссийский тампонажный	1:1	—	7—00	12—50	64	3,6	10,4	—
	1:1	5	0—40	4—10	100	4,3	14,0	—
	1:1	7	0—50	4—50	100	5,2	17,5	—
	1:1	10	0—30	2—45	100	7,0	26,0	—
	1:2	—	9—50	16—00	38	1,5	17,3	—
	1:2	5	7—40	12—20	95	1,8	21,0	—
Белгородский портландцемент марки 500	1:2	7	6—10	9—30	95	1,8	15,5	—
	1:2	10	2—55	7—05	95	1,8	14,0	—
	1:0,5	—	6—15	10—25	90	34,7	168	282
	1:0,5	5	3—20	5—50	100	22,2	124,3	252
	1:0,5	7	0—20	2—20	100	34,7	215	252
	1:0,5	10	0—10	0—25	100	63,0	215	228
	1:1	—	14—20	17—50	64	20,6	133	270
	1:1	5	7—30	13—45	95	15,2	25,7	100
	1:1	7	5—20	10—05	100	7,0	15,7	48
	1:1	10	3—05	8—15	100	8,8	17,3	68
	1:1	15	2—45	6—50	100	17,3	52	106
	1:1	20	1—40	6—40	100	22,5	61	153
	1:1,5	—	13—30	22—00	51	15,2	100	196
	1:1,5	5	12—45	21—55	90	5,2	17,3	81
	1:1,5	7	10—55	20—55	90	5,2	10,4	76
	1:1,5	10	7—30	16—30	90	4,4	12,2	52
	1:1,5	20	3—25	7—40	90	12,2	27,6	47
	1:2	—	16—45	22—30	38	14,2	80	186
	1:2	5	15—00	18—10	45	5,2	15,2	78
	1:2	15	7—50	16—20	60	4,4	14,0	61
	1:2	20	6—40	14—10	60	3,6	12,2	44
	1:3	—	22—10	26—00	27	—	61	150
	1:3	10	8—50	19—20	55	—	14	72
	1:3	20	8—00	16—30	55	—	10,4	42
	1:4	—	24—10	28—10	21	—	47	64
	1:4	15	11—30	22—30	35	—	7,0	48
	1:4	25	11—50	22—30	35	—	5,2	40

Примечание. Добавку ОЭС предварительно разбавляли в воде, затем приготовленную смесь добавляли к цементному раствору.

цементными растворами. При этом расход цемента оказался гораздо больше, чем в первом случае.

Жидкое стекло, как показывают исследования и практический опыт, является весьма эффективной добавкой в цементные растворы [36]. Жидкое стекло оказывает комплексное влияние на растворы, изменяя в лучшую сторону одновременно несколько параметров: сроки схватывания, выход тампонажного камня, проникающую способность, седиментационную устойчивость.

Для сравнения степени эффективности перечисленных добавок, обладающих комплексным влиянием, в табл. 23 приведены некоторые показатели растворов при их использовании [6, 36].

Таблица 23

Показатели	Состав раствора (Ц:В)	Величина добавки, % от веса цемента	Растворы с добавками			
			цементные	жидкого стекла	бентонита	ОЭС
Срок начала схватывания, ч-мин	1:1	5—7	8—50	1—20	2—00	5—20
	1:2	10—15	9—45	1—30	3—20	7—50
	1:3	20	10—10	1—30	4—40	8—00
Выход камня, %	1:1	5—7	65	100	90	100
	1:2	10—15	38	90	80	60
	1:3	20	27	90	80	55
Скорость осаждения цемента, мм/мин	1:1	5—7	0,65	0,15	0,15	—
	1:2	10—15	2,0	0,27	0,10	—
	1:3	20	6,1	0,4	—	—

Из табл. 23 видно, что более высокие показатели свойств растворов обеспечиваются при введении жидкого стекла. Жидкое стекло позволяет эффективней сократить сроки схватывания растворов, получить более высокий выход тампонажного камня и снизить скорость осаждения цементных частиц.

Добавки бентонита и ОЭС равноценны жидкому стеклу при составе раствора 1 : 1, но с увеличением водоцементного отношения их эффективность снижается сильнее.

В зарубежной практике цементации используют патентованные добавки комплексного действия — альфезил, инъектол, сика.

Эффективность действия подобных добавок рассмотрим на примере цементации в двух стволах шахты «Айрленд-Майн» (США). В цементный раствор вводили добавку сика, ускоряющую начало схватывания до 15 мин и повышающую выход тампонажного камня [37]. Для ликвидации притока воды 56—68 м³/ч было израсходовано около 15 м³ раствора с добавкой. При использовании цементного раствора без добавки расход цемента составил бы не менее 180 т.

Свойства тампонажных растворов и применение их с добавками жидкого стекла

В отечественной практике цементации использование жидкого стекла (силиката натрия) в качестве добавок в цементные растворы находит широкое применение. За рубежом жидкое стекло так-

же применяется в качестве химического материала, существенно улучшающего свойства растворов [31]. В частности отмечается, что «Силикат натрия (жидкое стекло) является хорошей добавкой, которая облегчает прокачивание раствора, способствует повышению текучести и проникновению его во внутренние щели и мелкие трещины в скальных породах» [38].

Достаточно широко исследовалось влияние добавок жидкого стекла на свойства цементных растворов при $V/C=0,4 \div 0,7$ или бетонных смесей. Влияние жидкого стекла на обычно используемые составы цементационных растворов ($V/C=1 \div 10$) сравнительно полно изучено в последнее время в Криворожском филиале ВНИИОМШСа.

Сущность влияния жидкого стекла на цементный раствор заключается в следующем. Портландцемент по аналогии с целым рядом химических реагентов (солей, кислот и др.) действует на раствор жидкого стекла как коагулянт. При этом образуются силикатные соединения в виде геля. Поэтому вводимое в цементный раствор стекло коагулирует с образованием силикагеля.

Время гелеобразования составляет 1—5 мин, в зависимости от V/C и разновидности цемента. Если в момент гелеобразования прекратить перемешивание, то раствор в короткое время застудневает, превращаясь затем в плотный камень. Вода в растворе полностью поглощается образовавшимся силикагелем, тем самым обеспечивается 100%-ный выход камня. Так как гелеобразование в течение 1—5 мин и последующее быстрое твердение раствора неприменимы при обычной технологии цементации, в момент образования геля раствор интенсивно перемешивается. Образующаяся структура нарушается, раствор разжижается. Дальнейшее структурообразование выступает как вторичный процесс взаимодействия между цементными частицами и разрушенными частицами геля. Этот процесс протекает замедленно и время начала схватывания равно 0,5—2,5 ч. Хотя при этом снижается механическая прочность камня и имеет место некоторое водоотделение, раствор обладает ценными свойствами для тампонирования. Образовавшийся и затем разрушенный перемешиванием силикатный гель создает более вязкую структуру раствора, придавая ему седиментационную устойчивость. Выход тампонажного камня остается в пределах 90—100%.

В цементных растворах структурообразование, как известно, обуславливается гидратацией и плотной упаковкой частиц цемента и дальнейшим взаимодействием между ними, ведущим к образованию кристаллической структуры и значительному росту механической прочности. В цементных растворах с жидким стеклом вследствие образования геля и распределения частиц цемента в большем объеме контактное взаимодействие между ними намного ослабевает или полностью исключается. Силикатный гель оказывается связующей средой для цементных частиц. Прочность геля-цементного камня оказывается зависящей не только от содержа-

ния цемента, но и от прочности самого геля, которая, в свою очередь, зависит от количества вводимого стекла.

На основе некоторых портландцементов (Амвросиевского, Белгородского и других заводов) были исследованы свойства цементных растворов в зависимости от количества вводимого стекла. В табл. 24 представлены параметры растворов на амвросиевском портландцементе марки 400 и жидком стекле с удельным весом 1,4 и модулем $M=2,8 \div 3$.

Таблица 24

Состав раствора. (Ц : В)	Содержание жидкого стекла, % от веса цемента	Условная влажность, %	Выход камня, %	Начало схватывания, ч—мин	Предел прочности образцов на сжатие (кгс/см ²) в возрасте, сут			
					1	3	7	28
1:0,5	0	120	94	2—30	11	60	107	180
1:0,5	1	70	100	0—55	7	42	91	150
1:0,5	2	Не течет	100	0—45	10	58	87	136
1:1	0		75	4—30	2,2	14	24	57
1:1	1	18	80	2—15	1,3	8	13,5	25
1:1	3	21	92	1—30	1,7	6,5	11,5	22
1:1	5	25	95	1—20	3,0	7,2	12,0	23
1:1	7,5	30	97	1—20	3,5	10	12,0	30
1:1	10	32	100	0—40	0,7	6,9	13,0	22
1:2	0	16	45	5—00	—	—	—	—
1:2	3	17	71	2—10	—	2,6	5,0	12
1:2	5	18	83	1—55	—	1,8	3,3	9,4
1:2	7,5	20	86	1—40	—	1,5	2,9	6,5
1:2	10	21	90	1—40	—	0,7	1,2	3,2
1:2	15	24	93	1—30	0,1	0,8	1,1	3,0
1:2	20	31	95	1—20	0,2	0,9	1,3	3,2
1:3	0	16	31	5—40	—	—	—	—
1:3	3	17	62	3—40	—	1,7	2,3	5,9
1:3	5	18	75	2—35	—	1,2	1,9	4,4
1:3	10	19	82	1—50	—	1,1	1,3	4,0
1:3	15	23	87	1—40	—	0,5	0,6	1,5
1:3	20	25	90	1—30	—	0,6	0,7	1,0
1:3	25	40	92	1—05	—	0,8	1,0	1,3
1:3	30	41	96	0—45	—	1,1	1,5	1,6

Исходя из необходимости получения максимального выхода тампонажного камня, содержание жидкого стекла в цементных растворах в зависимости от В : Ц должно составлять (рис. 47):

Цементный раствор с В:Ц .	1:0,5	1:1	1:2	1:3
Содержание жидкого стекла, %	1	5—10	10—20	15—30

Из основных видов цемента лучшие результаты обеспечивают портландцементы, несколько худшие — шлакопортландцементы. Глиноземистый цемент со стеклом образует слабосхватывающуюся массу.

Кроме того, на свойства растворов оказывает влияние также длительность хранения стекла и цемента. Цемент и стекло, потерявшие активность, повышают текучесть растворов, снижают выход камня и прочность его.

В конкретных условиях цементации сроки начала схватывания тампонажных растворов необходимо регулировать обычно в пределах 15—120 мин. Сроки начала схватывания растворов с добавками жидкого стекла составляют 0,5—2,5 ч, т. е. находятся в требуемых пределах и сравнительно легко регулируются.

Хотя механическая прочность гель-цементного камня сравнительно невысокая, на практике из-за этого ни разу не проявилось никаких осложнений и отрицательных последствий. Во-первых, потому, что порядок нагнетания предусматривает начало нагнетания жидким раствором, а окончание — обязательно густым (со-

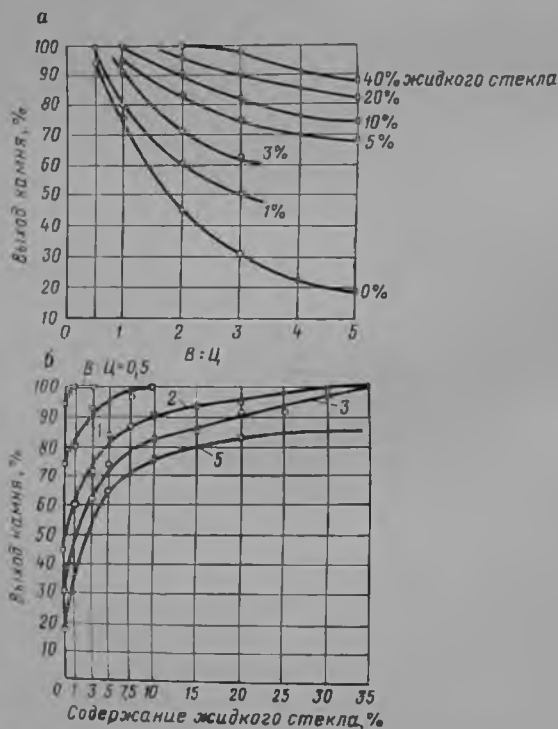


Рис. 47. График зависимости выхода камня из раствора от В:Ц при различных добавках стекла (а) и от содержания стекла при различных В:Ц (б)

става 1 : 1—1 : 0,5), следовательно, более прочным. Во-вторых, при нагнетании раствора под давлением из него образуется, как известно, камень гораздо более высокой прочности, по крайней мере в 4—6 раз выше по сравнению с контрольными образцами, приготовляемыми обычным способом в лаборатории.

Практически время после нагнетания раствора с добавками жидкого стекла, по истечении которого приступали к разбуриванию скважин (вскрывших притоки воды до 60 м³/ч при давлении 15—26 кгс/см²), составляло 3—6 ч и прорыва воды в скважину при этом не наблюдалось [14].

В отношении изменения механической прочности геля-цементного камня во времени было выявлено следующее. Если образцы камня хранились под водой, то прочность их во времени не снижалась, как это принято считать, а повышалась (рис. 48). Повышение прочности прослеживалось в течение 3 лет.

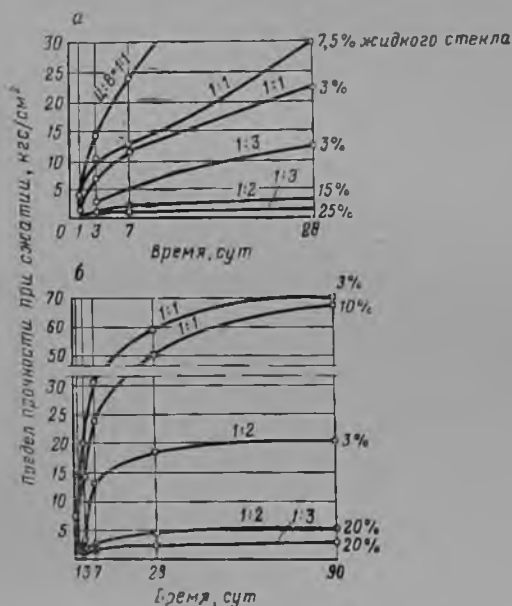


Рис. 48. График зависимости прочности камня от времени для некоторых составов растворов:

а — на Амурсиновском порландцементе марки 400;
б — на Белгородском порландцементе марки 500

При хранении таких образцов на воздухе из них испаряется вода. Образцы становятся пористыми, растрескиваются и их механическая прочность резко снижается. Причем, чем выше В/Ц раствора, тем разрушительное влияние воздушно-сухих условий проявляется сильнее. Поэтому добавки жидкого стекла могут использоваться при цементации в основном только для уплотне-

ния водоносных пород, когда затвердевший гель-цементный камень будет постоянно изолирован от атмосферного воздействия.

Имеющиеся практические и лабораторные данные свидетельствуют о том, что гель-цементный камень обладает надежной стойкостью против агрессивного воздействия подземной воды. В шахтных стволах Западного Донбасса и Кривбасса, где осуществлялась цементация с использованием добавок жидкого стекла, по истечении 4—6 лет изменений не проявлялось.

На основе цемента и жидкого стекла с примесями бентонита, шлака и других материалов в настоящее время предложен раствор для тампонирования пород в различных условиях.

В Криворожском филиале изучали цементные растворы с добавками жидкого стекла и бентонита [40].

По данным треста Кривбассшахтопроходка, для цементации крупнотрещиноватых известняков целесообразно применять растворы с соотношением шлак : бентонит : вода = 1 : 0,15 : 1 и цемент : бентонит : шлак : вода = 1 : 2 : 2 : 18 с добавками жидкого стекла [41].

В Англии для создания противодиффузионных завес применяли раствор состава [42] бентонитовая глина : цемент : вода : жидкое стекло = 1 : 0,5 : 6 : 0,1.

Применение смешанных растворов на основе цемента, силиката натрия и бентонита является перспективным направлением в области тампонажа пород [12].

Таким образом, при применении жидкого стекла в качестве добавок в цементационные растворы достигаются следующие преимущества:

1. Выход тампонажного камня повышается до 90—100%, что повышает качество цементации (табл. 25).

Таблица 25

Тампонажные растворы	Расход твердых составляющих на 1 м ³		Ориентировочная стоимость 1 м ³ тампонажного камня (по материалам)	
	цемент-заполнитель, кг	в том числе цемент, кг	руб.	%
Цементные с добавками жидкого стекла и бентонита	200—300	100—150	5	100
Цементные состава 1:3 с 20% жидкого стекла	340	340	6	120
Цементные состава 1:1 с 5% жидкого стекла	760	760	13	260
Цементные с 3% хлористого кальция	1300	1300	21	420
Суглинисто-цементные состава 1:2:1,4	1125	375	8,4	168
Цементно-песчано-суглинистые состава 1:1:1:2:0,5	1250	417	9,2	185

2. Значительно ускоряются сроки схватывания растворов.
3. Растворы приобретают лучшую проникающую способность, обуславливаемую седиментационной устойчивостью, т. е. образованием равномерного и устойчивого потока цементных частиц, уменьшающего или исключаящего опасность кальматации трещин; более низкой концентрацией твердых частиц; «смазывающим» эффектом силиката натрия, облегчающим продвижение цементных частиц в трещинах.

Достоинства растворов обеспечивают на практике: отсутствие расслаивания, которое позволяет увеличить глубину одновременно цементируемой заходки;

высокий выход тампонажного камня, что сокращает объем повторного разбуривания и нагнетания раствора;

ускоренные сроки схватывания, обеспечивающие снижение расхода раствора, сокращение времени нагнетания и времени выдержки скважин перед разбуриванием;

невысокую прочность камня, способствующую ускорению разбуривания скважин.

В табл. 26 приведены некоторые данные, полученные при цементации на ряде стволов шахт с примерно сопоставимыми условиями по притокам воды и пересекаемым породам.

Таблица 26

Показатели	Ствол № 1 шахты «Родес» [7]		Ствол № 16 шахты № 5-7 [5]	Вентиляционный ствол шахты им. Кирова [5]		Ствол шахты Г-1 [14]		
	участки цементации			участки цементации		участки цементации		
	I	II		I	II	II	VI	VII
Вскрытые притоки воды, м ³ /ч	218	—	30	75	250	460	45	210
Тампонажный раствор	Цементный					Цементный с добавками жидкого стекла		
Расход цемента на 1 м ствола, т	5,8	2,8	6	9,3	18,2	1,5	0,53	1,7
Число скважин	24	24	8	10	11	28	24	30
Глубина скважин, м	29	30,5	30	38,8	32,5	47	50	50
Объем бурения, м	4300	2600	—	948	567	1574	1245	1683
В том числе:								
по породе	1136	1600	240	380	365	1234	1145	1476
по цементному камню	3174	1000	—	568	202	340	100	207
Отношение объема пере- буривания ко всему объему бурения, %	74	38,5	—	60	36	21,5	8	12,3

Как видно из табл. 26, цементные растворы с жидким стеклом обеспечивают наиболее экономичный расход цемента. При сопо-

ставимых притоках воды расход цемента на 1 м ствола оказывается значительно меньше. Объем перебуривания при этом сокращается в 3—9 раз.

Рекомендации по применению жидкого стекла сводятся к следующему. Если целью цементации является уплотнение (гидроизоляция) горных пород и подземных сооружений, а также подавление притоков воды в выработки, то жидкое стекло оказывается наиболее эффективным компонентом, вводимым в раствор для повышения его цементирующей способности и экономичности цементационных работ. Если целью цементации является только укрепление пород и крепи, придание им высокой прочности, то жидкое стекло неприемлемо. Также не следует применять растворы с жидким стеклом для цементации конструкций и сооружений находящихся в воздушно-сухих условиях.

Порядок введения жидкого стекла в раствор имеет существенное значение. Могут быть три способа введения стекла:

I. В растворомешалку заливают воду и засыпают требуемое количество цемента. После размешивания вводят жидкое стекло равномерной струей при непрерывном и интенсивном перемешивании. Так как последнее условие на практике часто не выполняют и жидкое стекло вводят сразу в полном объеме, в растворе быстро образуются «сгустки» цементного теста, снижающие качество раствора и затрудняющие его нагнетание.

II. В растворомешалку заливают и размешивают необходимые объемы воды и жидкого стекла. Затем засыпают цемент при непрерывном перемешивании. Так как цемент вводят более или менее равномерно и небольшими дозами, сгустки не образуются и раствор, постепенно сгущаясь, получается однородным. По сравнению со способом I раствор в данном случае оказывается более текучим, подвижным, но выход камня из него несколько снижается.

III. Более целесообразным является способ введения стекла двумя порциями. В этом случае при $V/C=1\div3$ обеспечивается лучшая текучесть без снижения выхода камня и замедления процесса твердения. При этом способе сначала вместе с водой в растворомешалку заливают 25—30% расчетного количества жидкого стекла и засыпают равномерно весь цемент. Раствор перемешивают в течение 5—6 мин, а затем вводят оставшиеся 70—75% жидкого стекла. После непродолжительного размешивания раствор нагнетают в скважины.

При применении жидкого стекла процесс нагнетания раствора должен быть непрерывным. Когда используют цементные растворы без добавок, получающиеся простои и задержки скрадываются недостатками растворов — длительными сроками схватывания и низким выходом камня. В результате раствор нагнетают с задержками и простоями.

С одной стороны, при длительном перемешивании ухудшаются качества раствора, остающегося в мешалках во время остановок

насоса. Даже может наступить момент, когда раствор потеряет способность схватываться. Не рекомендуется перемешивание приготовленной порции раствора продолжительностью более 1,5 ч.

С другой стороны, из-за ускоренного схватывания во время остановок уже нагнетенной порции скважина может больше не пропускать раствора, не обеспечивать распространение его в необходимом радиусе.

Поэтому для непрерывного приготовления раствора применяют две растворомешалки или смеситель непрерывного действия, а для бесперебойного нагнетания — резервный насос. Нагнетательная система должна быть надежной.

Растворы для тампонирования тонкотрещиноватых и пористых пород

Тампонирование тонкотрещиноватых и пористых пород, а также сильно раздробленных пород с обильным глинистым заполнением, в которые цемент не проникает или проникает с трудом, является наиболее трудоемким процессом.

В каждом конкретном случае, руководствуясь целями и условиями цементации, а также качественными характеристиками имеющихся цементационных материалов, выбирают один или несколько растворов для комбинированного использования с таким расчетом, чтобы достичь наиболее эффективных результатов цементации. Чаще всего комбинировано использовали два типа растворов — цементные и силикатные. В последнее время вместо силикатных начинают применять:

в зарубежной практике — полимерные растворы типа АМ-9, РWС, в отечественной — смолы МФ-17, УКС, крепители М и К и др. Химические растворы не содержат твердых частиц и имеют низкую вязкость.

Они проникают во все мелкие трещины и поры, доступные прониканию воды.

Принцип комбинированного применения растворов заключается в следующем:

при неравномерной трещиноватости пород бурят серию скважин и нагнетают цементный или другой грубый раствор. При этом заполняются все крупные трещины, куда смог проникнуть этот раствор. Затем бурят вторую очередь скважин (внутри первой или в промежутке между ними), в которую инъецируют высокопроницающие силикатные или полимерные растворы, уплотняющие мелкие трещины и поры. В результате работ достигается полная гидроизоляция;

в мелкотрещиноватых породах или при наличии в трещинах глины, препятствующей распространению цемента, в скважины сначала нагнетают для смазки трещин силикатный раствор, облегчающий проникновение цементного раствора, нагнетаемого вслед за силикатным;

в рыхлых или сильно раздробленных породах, требующих уплотнения, уплотнения, проникновение цемента в которые затруднено, в скважины в первую очередь для смазки нагнетают силикатный раствор, затем цементный. Далее бурят вторую очередь скважин, в которые нагнетают химический раствор для окончательного уплотнения пород.

В тонкотрещиноватые, пористые и тонкозернистые породы, в которые проникновение цемента вообще невозможно, нагнетают только химический раствор.

Разрабатываемые и исследуемые в последние годы в СССР синтетические смолы, в частности карбамидные, перспективны для тампонирувания горных пород. Однако при исследовании этих смол до сих пор большее значение придается прочности, хотя вопрос необходимой прочности материала для инъектирования следует рассматривать в зависимости от целей и условий тампонирувания. В определенных условиях необходимо достижение предела прочности укрепления неустойчивых пород 50—100 кгс/см². Для этого концентрация смолы в растворе должна быть достаточно высокой — 30—40% и выше. Но смолы таких концентраций рекомендуются для использования и с целью уплотнения пород, где необходимости в прочности нет. При высокой стоимости смол подобные концентрированные растворы оказываются дорогостоящими. Между тем применяемый за рубежом полимерный раствор АМ-9 используется при концентрации 7—15%, предел прочности укрепленного им песка составляет 1,5 кгс/см². Этот раствор в комбинации с цементным применяют для нагнетания в тонкотрещиноватые и пористые породы.

Таким образом, с помощью более доступной смолы МФ-17 и крепителей М и К при концентрации 7—15% можно получить сравнительно экономичные растворы, вполне приемлемые для широкого применения. Например, крепитель М при товарной концентрации 45—50% имеет стоимость 115 руб. за 1 т. Разбавив его до 10%-ной концентрации (т. е. введя 4 объема воды), стоимость 1 т раствора стала равной 23 руб. за 1 т.

5. МЕХАНИЗАЦИЯ ТАМПОНАЖНЫХ РАБОТ

Для производства тампонажных работ необходимы буровые и растворосмесительные средства, цементационные насосы и растворопровод с запорной арматурой.

В настоящее время известно применение нескольких комплексов, предназначенных для цементации из забоев стволов и с поверхности земли [43, 44, 45, 46, 47].

Техническая характеристика составных частей комплексов приведена в табл. 27.

Практика применения комплексов цементационного оборудования показывает, что наряду с достоинствами они имеют существенные недостатки.

Комплекс	Буровые средства	Растворосмесительные средства	Цементационные насосы	Растворопровод с запорной арматурой
Для цементации из забоя ствола				
КЦТ-1м (КЦЗ)	Колонковый перфоратор КЦМ-4 (КС-50) для скважин диаметром 52 мм и глубиной 18 м	Не предусмотрено	Насос ЗИФ-200/40 с пневмодвигателем ПРШ-16 производительностью 12 м³/ч и максимальным давлением 40 кгс/см²	Гибкий бронированный рукав диаметром 38 мм, трехходовой кран, телескопический кондуктор
КЦЗ-2	Буровой станок НКР-100 для скважин диаметром 105 мм и глубиной 40 м	Не предусмотрено	Насос НГР-250/50 с пневмодвигателем ПРШ-16 производительностью 15 м³/ч и давлением 50 кгс/см²	Гибкий бронированный рукав диаметром 38 мм, трехходовой кран, спецальный кондуктор
КЦ-Б (при магнетитном растворе с глубиной 300 м)	Буровой станок ЗИФ-300 для скважин диаметром 151—76 мм и глубиной 300 м	Тампонажный узел С-753	Цементированный агрегат ПА-320 производительностью 8,5—82 м³/ч и давлением 400 кгс/см²; тип насоса 9Т	Растворопровод диаметром 50 мм, в забое гибкий металлический рукав на шарнирных соединениях для подсоединения к скважинам, трехходовой запорный кран

Комплекс	Буровые средства	Растворосмесительные средства	Цементационные насосы	Продолжение
Для цементации с поверхности земли				
КЦП-1	Буровая установка УРБ-ЗАМ (ЗИФ-650) для скважин диаметром 200—76 мм и глубиной 650 м	Смесительная машина 2СМ (СМН-20) производительностью 36—120 м ³ /ч	Цементировочный агрегат ЦА-320 производительностью 82 м ³ /ч и давлением 400 кгс/см ² ; насос типа 9Т	Гибкий металлический рукав на шарнирных соединениях диаметром 50 мм, специальная цементировочная головка
КЦП-2м	Буровая установка ЗИФ-650 (ЗИФ-1200) для скважин диаметром 200—91 мм и глубиной 650 (1200) м	Тампонажный узел С-753	Цементировочный агрегат ЦА-320 производительностью 82 м ³ /ч и давлением 400 кгс/см ²	Гибкий металлический рукав на шарнирных соединениях диаметром 50 мм, специальная цементировочная головка
КЦ-10	Буровая установка на основе станка ЗИФ-650А для скважин диаметром 350—100 мм и глубиной 650 м	Смесительная машина КПС-10 производительностью 18—39 м ³ /ч на основе смесительной машины 2 СМ или смесительный агрегат производительностью 20 м ³ /ч, включающий две глиношальки ГН-3 и песковый насос	Цементировочный агрегат, включающий два насоса 9Т, производительностью 82 м ³ /ч и давлением 400 кгс/см ²	Гибкий металлический рукав

В комплексах старого выпуска КЦТ-1м, КЦ-3, КЦ-3-2, применяемых для цементации из забоя, каких-либо растворосмесительных средств не предусмотрено (рис. 49 и 50). Поэтому при их при-

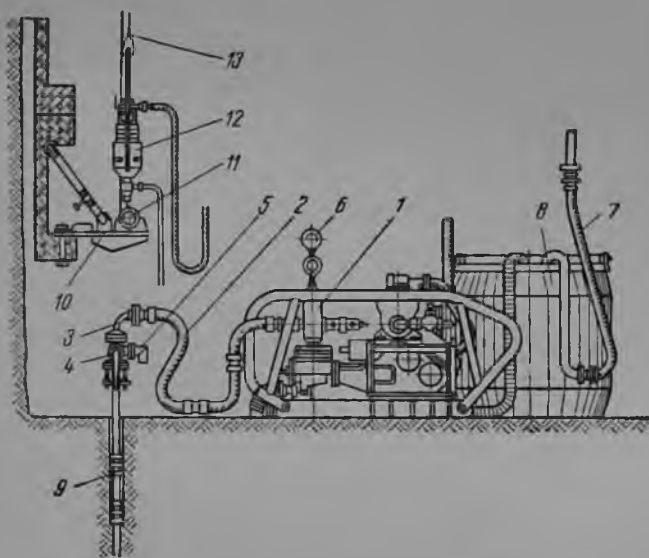


Рис. 49. Комплекс оборудования КЦТ-1М для предварительной цементации из забоя ствола:

1 — насос ЗИФ-200/4; 2 — высоконапорный шланг; 3 — колено кондуктора; 4 — трехходовой кран; 5 — гаситель; 6 — манометр; 7 — растворопровод; 8 — бадья для раствора; 9 — кондукторная труба с тампонами; 10 — кронштейн; 11 — ручная лебедка для подвески перфоратора; 12 — колонковый перфоратор КЦМ-4 (КС-50); 13 — канатная подвеска перфоратора

менении приходится изыскивать растворомешалки, использовать не приспособленные для данных условий или самодельные, устраивать емкости для цемента, загрузки и разгрузки цемента из которых нередко производится вручную. Нередко вручную осуществляется и дозировка цемента. Такое приготовление раствора примитивно, трудоемко и малопродуктивно.

В забое механических мешалок не предусмотрено. Большей частью раствор сбрасывается в бадью, где перемешивается сжатым воздухом или вручную. Цемент, доставляемый чаще навалом в вагонах и машинах, содержит посторонние примеси и слежавшиеся кусочки. Приспособления для просеивания цемента или процеживания раствора отсутствуют.

Примененные в комплексах КЦТ-1м и КЦ-3 буровые средства — колонковые перфораторы КЦМ-4 и КС-50 — обладают низкой производительностью при малой глубине бурения.

Буровой станок ЗИФ-300м в цементационном комплексе КЦ-Б (рис. 51) малоэффективен (скорость его бурения в породах Донбасса 3,37 м/смену). Применение станка ЗИФ-300м не отвечает предъявляемым требованиям, если иметь в виду, что именно бурение скважин является наиболее трудоемким процессом в производстве тампонажных работ. При применении одного-двух станков ЗИФ-300 проектная скорость бурения цементационных скважин со-

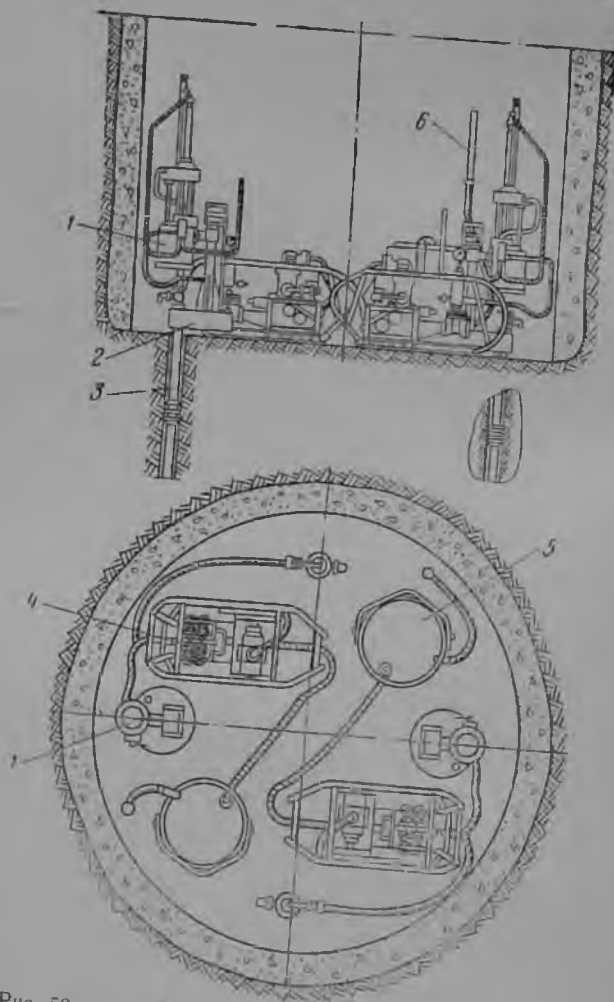


Рис. 50 Общий вид цементационного комплекса КЦЗ-2:
1 — буровой станок НКР-100 (установка УБС-2м); 2 — пригрузочная плита; 3 — кондуктор; 4 — насос НКР-250/50;
5 — бачок для воды (раствора); 6 — растворопровод

ставляет 13—27 м/сут, тогда как производство тампонажных работ требует скорости бурения 100—120 м/сут.

Общим недостатком комплексов оборудования КЦП-1 (рис. 52), КЦП-2м (рис. 53), КЦ-Б является то, что при принятых раст-

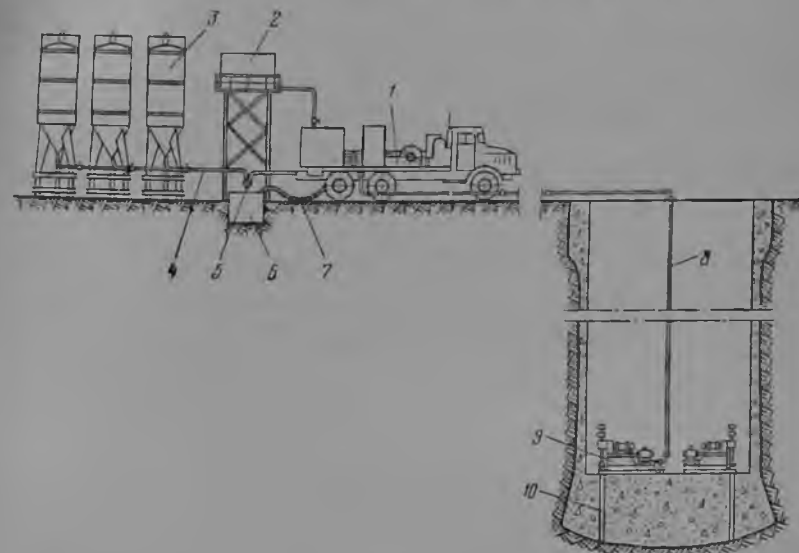


Рис. 51. Комплекс оборудования КЦ-Б для предварительной цементации пород из забоя ствола:

1 — цементировочный агрегат ЦА-320; 2 — емкость для воды; 3 — емкость на 25 т цемента; 4 — трубопровод для пневмоподачи цемента; 5 — смеситель; 6 — расходная емкость для раствора; 7 — всас насоса; 8 — нагнетательный трубопровод $\varnothing 60$ мм; 9 — буровой станок типа ЗИФ-300м; 10 — кондуктор

воросмесительных средствах затруднено применение таких добавок, как жидкое стекло и ОЭС, а также приготовление сложных тампонажных растворов.

Кроме того, в качестве средства для нагнетания раствора в этих комплексах, а также в комплексе КЦ-10, приведенном на рис. 54, принят насос типа 9Т, заимствованный из цементировочного агрегата ЦА-320. Применение такого мощного высокопроизводительного насоса целесообразно при цементации пород значительного растворопоглощения, например карстовых полостей.

При обычной трещиноватости насос не обеспечивает оптимального режима цементации, когда удельное поглощение раствора должно плавно снижаться до нуля, а давление — равномерно возрастать до максимального значения (рис. 55).

Так как производительность насоса 9Т намного превосходит поглощающую способность скважин, обладающих определенным гидравлическим сопротивлением, при нагнетании раствора дав-



Рис. 52. Комплекс оборудования КЦП-1 для предварительной цементации с поверхности земли:

1 — самоходная буровая установка УРБ-3АМ; 2 — цементировочная универсальная головка; 3 — цементировочный агрегат ЦА-320; 4 — смесительная машина 2СМ; 5 — емкость для раствора



Рис. 53. Комплекс оборудования КЦП-2м для предварительной цементации пород с поверхности земли:

1 — цементировочный агрегат ЦА-320; 2 — емкость для воды; 3 — емкость на 25 т цемента; 4 — трубопровод для пневмоподачи цемента; 5 — смеситель; 6 — расходная емкость для раствора; 7 — всас насоса; 8 — нагнетательный трубопровод; 9 — буровой станок ЗИФ-650 М (или ЗИФ-1200 т); 10 — направляющий став для бурения; 11 — кондуктор



Рис. 54. Комплекс оборудования КЦ-10 для цементации горных пород с поверхности:

1 — склад цемента и других тампонажных материалов; 2 — конвейер для подачи материалов; 3 — глиномешалка ГИ-3; 4 — рукав; 5 — расходная емкость объемом 4 м³; 6 — цементационный насос ЦТ; 7 — электропривод насоса; 8 — металлический нагнетательный рукав; 9 — кондуктор с запорной пружинной; 10 — буровой агрегат на базе станка ЗИФ-650 или ЗИФ-300; 11 — платформа; 12 — песковый насос типа 2НП

ление очень быстро возрастает. Это вынуждает или заканчивать нагнетание, не достигнув требуемого насыщения трещин, или продолжать нагнетание при возросшем давлении. При этом могут происходить гидроразрывы пластов и образовываться новые каналы, по которым раствор распространится далеко за пределы требуемого радиуса цементации.

Опыт применения насосов 9Т на агрегатах ЦА-320 (в Донбассе) подтверждает повышенный расход раствора.

Практика показывает, что для обеспечения оптимального режима нагнетания раствора в обычных условиях трещиноватости достаточно, чтобы производительность насосов находилась в пределах 3—18 м³/ч. При этом производительность насоса должна быть широко регулируемой, что лучше всего достигается при пневматическом приводе.

В последнее время при цементации в шахтных стволах применяют иногда отдельно самоходные цементируемые агрегаты ЦА-320м (рис. 56) и 4ЦА-100, предназначенные для цементации нефтяных и газовых скважин. Эти агрегаты включают цементационные насосы 9Т и 11ГрЦ с приводом от тягового двигателя автомобиля. Раствор готовят с помощью гидравлической мешалки, имеющейся при агрегате, куда цемент загружают вручную, и состав раствора выдерживают ориентировочно.

вынуждает или заканчивать нагнетания трещин, или продолжать нагнетание при возросшем давлении. При этом могут образовываться новые каналы, по которым раствор распространится далеко за пределы требуемого радиуса цементации.

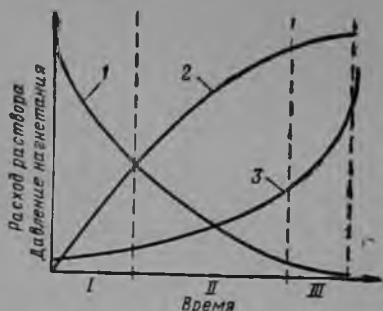


Рис. 55. Характеристика идеального процесса нагнетания тампонажного раствора в скважину по фазам:

I — активного поглощения раствора; II — уплотнения; III — насыщения; 1 — расход раствора в единицу времени; 2 — общий расход раствора; 3 — давление нагнетания

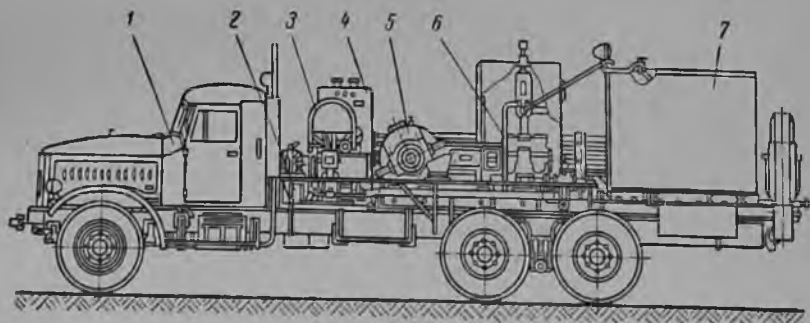


Рис. 56. Цементируемый агрегат ЦА-320м:

1 — автомобиль КраЗ-219; 2 — коробка отбора и регулирования мощности; 3 — насос 1В для подачи воды; 4 — бензиновый двигатель ГАЗ-51; 5 — насос двойного действия 9Т; 6 — трубопроводы; 7 — бак для воды

Агрегат ЦА-320 предназначен для использования в комплексе со смесительной машиной 2СМ (СМН-20) (рис. 57). Смесительная машина смонтирована на шасси автомобиля ЯАЗ-219. Перемешива-

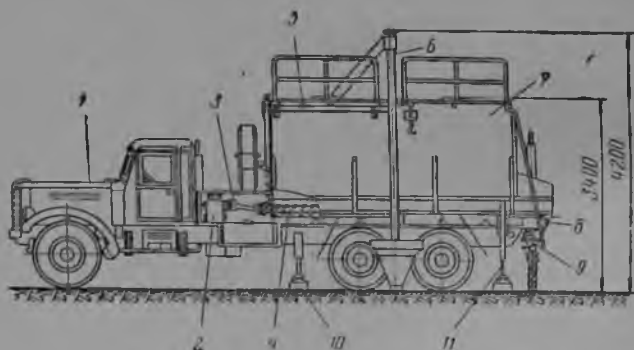


Рис. 57. Самоходная смесительная машина 2СМ (СМН-20):

1 — автомобиль ЯАЗ-219; 2 — коробка отбора и распределения мощности; 3 — карданный вал основного шнека; 4 — основной шнек; 5 — трансмиссия; 6 — загрузочный шнек; 7 — бункер для цемента емкостью 20 т; 8 — приемная воронка; 9 — вакуумно-гидравлическое смесительное устройство; 10, 11 — четыре откидных упорных домкрата

вание раствора осуществляется гидравлическим способом. Подача цемента в гидравлическую мешалку осуществляется парой шнеков, проложенных по дну бункера. Воду подают в мешалку насосом через набор насадок различного диаметра, что дает возможность в определенной мере изменять консистенцию раствора.

Смесительная машина 2СМ позволяет готовить цементационный раствор непрерывно и с высокой производительностью (36—120 м³/ч), однако она имеет недостатки.

Смесительная машина предназначена для приготовления цементного раствора с удельным весом 1,8—2 г/см³, что соответствует В/Ц=0,4÷0,6, тогда как при цементации пород в горном деле, как правило, используют растворы при В/Ц=1÷5 и выше. Поэтому в процессе нагнетания приходится раствор разбавлять водой, выдерживая требуемое В/Ц ориентировочно.

При использовании машины затрудняется или исключается возможность использования добавок (жидкого стекла) или примесей (глины, песка), которые требуется вводить в цементационные растворы.

Не решен вопрос загрузки бункера машины цементом при доставке его автосамосвалами.

Производительная мощность машины для цементации пород при проходке стволов является чрезмерно высокой. При цементации в обычных условиях нагнетание раствора под давлением осу-

существляется с производительностью в среднем 6—10 м³/ч, что в 6—12 раз меньше производительности машины.

Оборудование, состоящее из цементировочного агрегата и смесительной машины, например включенное в состав цементационного комплекса КЦП-1, характеризуется следующими данными [45].

Смесительная машина 2СМ:

база — шасси автомобиля ЯАЗ-219 с двигателем мощностью 180 л. с.;

вес смесительной машины с автомобилем — 13,8 т;

стоимость смесительной установки — 10 000 руб.

Цементационный агрегат ЦА-320:

база — шасси автомобиля ЯАЗ-219 с двигателем мощностью 180 л. с.;

двигатель ГАЗ-51 для привода водяного насоса — 70 л. с.;

общий вес агрегата — 17 т;

стоимость цементировочного агрегата — 6900 руб.

Общая мощность установленных двигателей составляет 430 л. с., а стоимость — 16 900 руб.

Учитывая известную эпизодичность цементационных работ при проходке шахтных стволов, применение такого мощного, тяжелого и дорогостоящего комплекса, к тому же недостаточно приспособленного для таких условий нецелесообразно.

Учитывая специфические условия проведения предварительной цементации пород из забоев стволов шахт, необходимую мощность, компактность и удобства обслуживания, Криворожским филиалом ВНИИОМШСа с участием треста Кривбассшахтопроходка разработан более рациональный комплекс оборудования для цементации, общий вид которого представлен на рис. 58.

Растворосмесительная установка. Для приготовления тампонажного раствора на поверхности разработана растворосмесительная установка, предусматривающая механизацию всего процесса, начиная с разгрузки цемента. Оборудование рассчитано на возможность использования примесей (глины, суглинка, песка) и химических добавок в цементные растворы. Для перемешивания компонентов раствора предусмотрен смеситель непрерывного действия, позволяющий готовить раствор по мере его расхода и сокращающий потери материалов.

Насосный агрегат. Для обеспечения надежной цементации в различных условиях в комплекс включены два насоса ЗИФ-200/40 и один насос типа 11ГрЦ с пневматическими приводами и шаровыми клапанами. Эти насосы наиболее приспособлены для нагнетания цементного раствора и по своей характеристике (производительности и развиваемому давлению) отвечают необходимому режиму цементации скважин.

При наличии трех насосов обеспечивается непрерывное нагнетание и удобное маневрирование производительностью и давлением в зависимости от различных условий цементации. Например, можно включать в работу два насоса и нагнетать раствор в одну

скважину или одновременно в две. При необходимости высокое давление (100—150 кгс/см²) обеспечивается насосом 11ГрЦ.

Могут также применяться насосы НГР-250/50 и 11ГрБ, которые по своим характеристикам несколько уступают насосам ЗИФ-200/40 и 11ГрЦ. Производительность и развиваемое давление на-

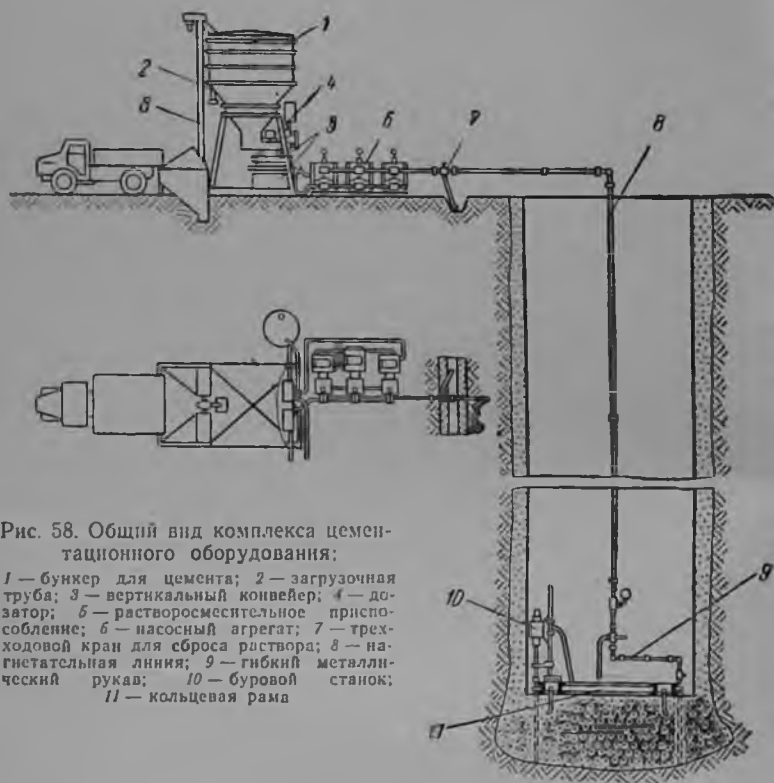


Рис. 58. Общий вид комплекса цементационного оборудования;

1 — бункер для цемента; 2 — загрузочная труба; 3 — вертикальный конвейер; 4 — дозатор; 5 — растворосмесительное приспособление; 6 — насосный агрегат; 7 — трехходовой кран для сброса раствора; 8 — нагнетательная линия; 9 — гибкий металлический рукав; 10 — буровой станок; 11 — кольцевая рама

соса НГР-250/50 на 25% выше, чем насоса ЗИФ-200/40. Однако на цементном растворе насос НГР-250/50 работает хуже, так как предназначен для перекачки только глинистых растворов.

Удобным для цементации горных пород является насос Гр-16/40, выпущенный взамен насоса НГР-250/50. Этот насос оборудован механизмом для бесступенчатого регулирования производительности от 1,9 до 16 м³/ч на ходу под нагрузкой, что очень ценно для осуществления необходимого режима нагнетания. Насос Гр-16/40 имеет меньшие размеры и вес и обладает лучшими эксплуатационными качествами.

В табл. 28 приведена техническая характеристика цементационных насосов.

Показатели	Тип насосов				
	ЗИФ- 200/40	НГР- 250/50	Гр-16/40	11ГрЦ	11ГрБ
Производительность, м ³ /ч	12	15	1,9—16	7—30	13,5—18
Давление, кгс/см ²	40	50	40	61—100	50—63
Число цилиндров	2	2	2	2	2
Диаметр цилиндров, мм	85	85	90	80; 90	80; 90
Ход поршня, мм	140	—	6—48	150	150
Число ходов поршня в мину- ту	80	100	260	100	100
Максимальная потребляемая мощность, л. с.	28	32	30	—	48
Вес, кг	800	700	550	1150	1150
Размеры, мм	1450 × ×1550 × ×890	1446 × ×850 × ×945	1340 × ×1080 × ×930	1930 × ×990 × ×1270	1930 × ×990 × ×1270

Для подачи и нагнетания раствора в скважины с поверхности земли применен трубопровод диаметром 50 мм с быстроразъемными соединениями (рис. 59), а также надежный металлический рукав с шарнирными звеньями для разводки раствора по скважинам в забое (рис. 60, 61). Кроме того, применены надежные трехходовой (на конце става) и запорные пробковые краны, конструкции которых представлены на рис. 62, 63. Сочетание стального корпуса и стальной пробки с латунной втулкой обеспечивает высокую прочность и плотность крана, а также устойчивость поверхности пробки против истирания. В случае истирания поверхности пробки достаточно сменить латунную втулку на новую.

Краны и кондуктора снабжены элементами быстродействующего соединения.

Буровые средства. Перспективными средствами для бурения цементационных скважин являются буровые машины вращательно-ударного действия, в частности колонковые перфораторы типа ПК-5Н, ПК-50, ПК-65. Они в большей мере удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Перфораторами ПК-5Н и ПК-50 можно бурить скважины диаметром 40—65 мм до глубины 25 м.

В буровых машинах предусматривается применение более мощного перфоратора ПК-65, который разработан Криворожским институтом ГИПРОРУДМАШ и предназначен для бурения скважин диаметром 55—70 мм на глубину 50 м. Например, в породах с $f=14\div 18$ этот перфоратор при крестовой коронке диаметром 57 мм обеспечивает скорость бурения в пределах 300—345 мм/мин.

Достоинствами указанных буровых машин являются также небольшой размер и вес, дистанционное управление и простота обслуживания.

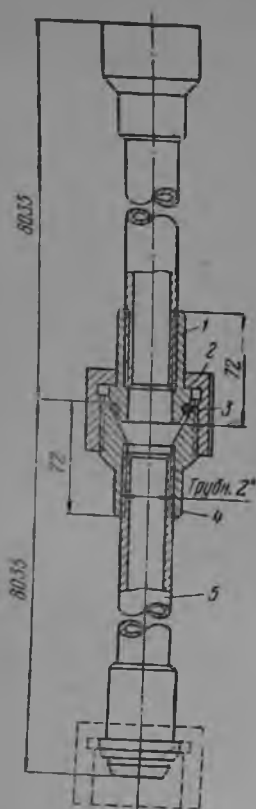


Рис. 59. Быстросъемное соединение труб става цементации:

1 — пиппель; 2 — гайка; 3 — уплотнительное кольцо; 4 — муфта резьбовая; 5 — труба диаметром 50 мм



Рис. 60. Забойная часть нагнетательной линии:

1 — став цементации; 2 — камера для манометра; 3 — трехходовой высоконапорный кран; 4 — звенья труб длиной 1—2 м; 5 — шарнирные колена; 6 — проходной запорный кран; 7 — кондуктор; 8 — манометр

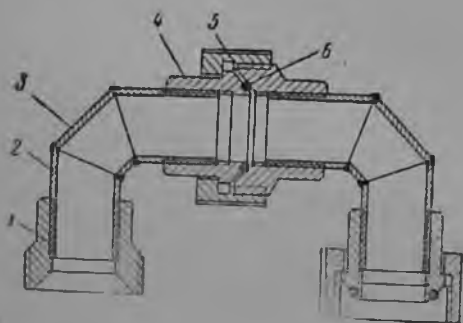


Рис. 61. Шарнирное колено сварной конструкции:

1 — резьбовая муфта; 2 — труба диаметром 2"; 3 — труба диаметром 2"; 4 — пиппель; 5 — гайка; 6 — уплотнительное кольцо

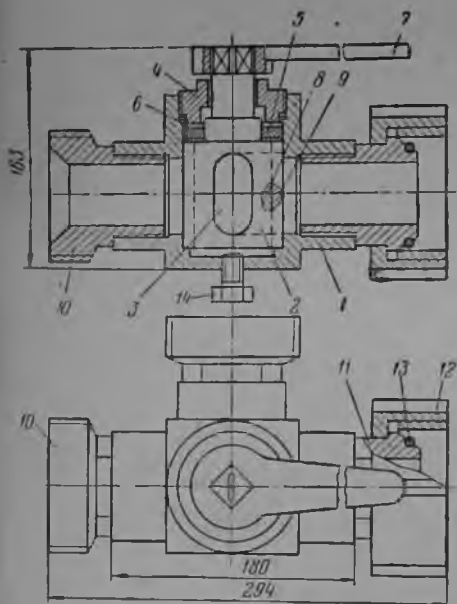


Рис. 62. Кран пробковый трехходовой:

1 — корпус; 2 — пробка; 3 — овальный канал; 4 — гайка; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — шайба; 7 — ключ; 8 — стальной стержень; 9 — латунная втулка; 10 — резьбовая муфта; 11 — ниппели; 12 — гайка; 13 — уплотнительное кольцо; 14 — болт М16Х25

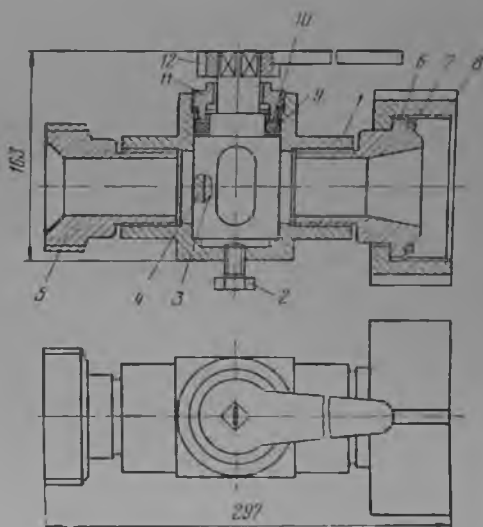


Рис. 63 Кран пробковый запорный:

1 — корпус; 2 — болт М16Х25; 3 — пробка; 4 — втулка латунная; 5 — резьбовая муфта; 6 — ниппель; 7 — кольцо уплотнительное; 8 — гайка; 9 — кольцо уплотнительное; 10 — шайба; 11 — гайка; 12 — ключ

При применении производительных и малогабаритных буровых машин возможно использовать в забое до 4—6 перфораторов, что обеспечивает более высокую скорость бурения скважин.

Необходимо только отметить, что при бурении этими перфораторами нисходящих скважин ввиду высокой скорости бурения требуется гораздо более интенсивная промывка во избежание быстрого зашламления.

Крепление в забое ствола буровых машин вращательно-ударного действия, работающих с направляющей каретки, осуществляется с помощью рамной опоры, представленной на рис. 64. Направ-

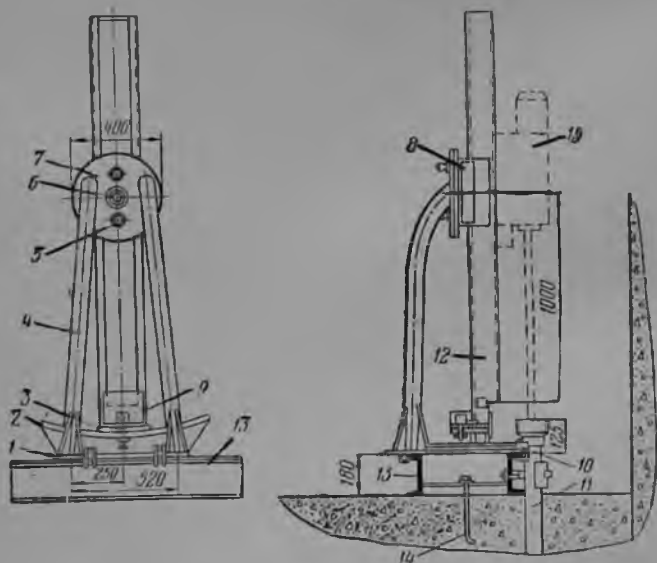


Рис. 64. Крепление бурового станка в забое ствола:

- 1 — опорная плита; 2 — направляющая; 3 — башмак; 4 — опора;
5 — винт М-42; 6 — палец; 7 — плита; 8 — плита; 9 — винт М-86;
10 — прижим; 11 — кондуктор; 12 — направляющая каретка станка;
13 — кольцевая рама-шаблон; 14 — анкерный болт; 15 — буровой станок

ляющая каретка имеет возможность вращаться на горизонтальной оси опоры, чем задается требуемый угол наклона скважины.

В слабых и средней крепости породах достаточно эффективными средствами бурения цементационных скважин являются также станки вращательного действия ГП-1 и САВ-2 с пневмоприводом и с коронками РКС. В последнее время на смену станку ГП-1 выпущен более совершенный станок БСК-2м-100. Крепление буровых станков, устанавливаемых на салазках, осуществляется с помощью специальных захватов к кольцевой раме.

Применение станков вращательного действия целесообразно с той точки зрения, что представляется возможным при необходи-

мости использовать их для колонкового бурения с целью извлечения и изучения керна цементируемых пород.

Техническая характеристика станков применяемых для бурения цементационных скважин, приведена в табл. 29.

Приспособление для установки кондукторов и крепления станков. Для установки кондукторов и крепления буровых станков в разработанном комплексе применена кольцевая рама, приведенная на рис. 65. Кольцевая рама-шаблон позволяет в минимальное время и точно устанавливать кондуктора, а также быстро и удобно крепить в забое ствола буровые станки.

Средства связи. Для связи между поверхностью и забоем ствола и обеспечения удобного управления цементационными работами применен шахтный телефон МБ. Для этих целей могут также использоваться средства радиосвязи.

Представленное на рис. 65 цементационное оборудование сконструировано в виде отдельных блоков. В частности, насосный блок,

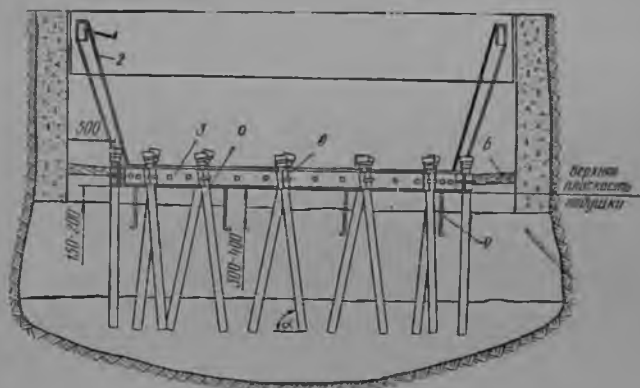


Рис. 65. Положение рамы с кондукторами перед укладкой тампонажной продукции:

1 — кольцо жесткости опалубки; 2 — подвеска; 3 — кольцевая рама-шаблон; 4 — кондуктор; 5 — хомут для крепления кондуктора; 6 — насоска; 7 — анкерный болт

включающий три насоса, установлен на общей раме. На другой раме смонтирована растворосмесительная установка. Блоки имеют компоновку и размеры, удобные для транспортирования на автомашинах и прицепах, монтажа и демонтажа на промышленной площадке.

В зависимости от условий цементации разработанный комплекс цементационного оборудования может дополняться другими средствами механизации и приспособлениями. Например, целесообразно дополнить комплекс следующими приспособлениями:

Показатели	Вращательно-ударные				Вращательные			С погружным ударником
	ПК-5Н	ПК-50	ПК-65	БУ-70	ГП-1	САВ-2	БСК-2М-100	
Глубина бурения, м	25	25	50	50	100	100	100	40
Диаметр коронок, мм	40—65	40—65	55—70	60—70	36—76	36—59	36—92	105
Диаметр штанг, мм	32	32	38	38	33,5	33,5; 42	33,5, 42	63,5
Скорость вращения шпинделя, об/мин	—	—	75	75	240—680	250—1500	300—600	76
Длина хода подачи шпинделя, м	—	—	1435	800	450	400	450	365
Способ подачи шпинделя	Пневматический				Механический	Гидравлический		Пневматический
Осевое усилие, кгс	—	—	1000	700	800	1500	1200	600
Мощность двигателя, л. с.	5,5	—	3,8	4	4,5	4,5	—	3,8
Работа удара, кгс-м	10	9,2	15	14	—	—	—	7,5
Число ударов в минуту	2500	2800	2300	2100	—	—	—	1900
Крутящий момент, кгс/см	1200	1800	2500	3500	—	—	—	—
Расход воздуха, м³/мин	7,5	9	12	14	—	—	—	6
Давление воздуха, кгс/см²	5	5	5	5	—	—	—	5
Вес установки, кг	—	—	310	340	300	376	480	360
Размеры, мм	—	—	—	1900× ×1200× ×820	1000× ×900× ×1500	1430× ×1100× ×1780	1710× ×710× ×1400	1500× ×665× ×645

Таблица 30

Показатели	Станки						Передвижные буровые установки	
	ЗИВ-150	ЗИФ-300	ЗИФ-650	СБА-500	БУ-1А	УАВ-300	ПБУ-300-ЗИВ	ПБУ-150-ЗИВ
Диаметр коронок, мм	59—116	59—131	76—200	59—131	36—76	36—112	76—131	59—152
Глубина скважин, м	150	300	650	300—500	300	300	300	150
Диаметр штанг, мм	42	42; 50	50; 63,5	33; 5; 42, 50	33,5	33,5; 42	42; 50	42
Скорость вращения шпинделя, об/мин	120—750	102—408	71—470	104—1015	135—745	144—855	101—477	82—510
Длина хода подачи шпинделя, мм	450	400	500	400	350	350	400	450
Способ подачи шпинделя	Механический	Гидравлический						Механический
Максимальное осевое усилие, кгс	1000	5000	8500	4200	—	—	5000	—
Мощность двигателя, л. с.	—	14	28	—	12	16	38	30
Вес, кг	900	1290	2500	1112	630	1000	7500	—
Размеры, м	2018× ×802× ×1568	3410× ×2290× ×1480	2690× ×1360× ×2260	1670× ×1130× ×1620	1750× ×900× ×1500	2370× ×914× ×1846	8000× ×2800× ×3700	7240× ×2500× ×3490

приборами (манометрами) для отбора показаний давления у устья скважин и передачи их на поверхность к оператору;
приборами для изучения трещиноватости пород (перископами, трещиноискателями и др.);
приборами для контроля качества цементации (возможно, с помощью радиометрии);
набором приборов для полевых исследований и подбора составов тампонажных растворов.

При цементации с поверхности земли из этого комплекса оборудования применяют растворосмесительный узел, насосный агрегат и нагнетательную линию, а для бурения скважин применяют соответствующие буровые станки или агрегаты.

Для бурения скважин с поверхности земли целесообразно применять станки ГП-1, ЗИВ-150, ЗИФ-300, СБА-500, ИФ-650, техническая характеристика которых приведена в табл. 30.

Из перечисленных средств более эффективными и перспективными по эксплуатационным качествам являются станки СБА-500, БУ-1А, УАБ-300.

Кроме того, для указанной цели могут применяться также передвижные роторные буровые установки типа УКБ-2-100 и УРБ-2А, обеспечивающие эффективное бурение до глубины 150—300 м.

Выбор типа буровых станков определяется мощностью и глубиной залегания водоносной зоны, механическими свойствами пород, размерами и условиями размещения станков (в устье ствола или на нулевой площадке).

При предварительной цементации из забоя с размещением насосов и растворомешалок в стволе (на проходческом полке или специальном полке, настилаемом поверх опалубки) необходимо соответствующее малогабаритное оборудование. Насосы Гр-16/40, ЗИФ-200/40 и 11ГрЦ с пневмоприводом по своим размерам вполне приемлемы для этой цели.

Тампонажный раствор в данном случае готовится на поверхности с помощью растворосмесительного агрегата и в растворомешалку при насосе подается по бетонопроводу или бадьями. Для механического перемешивания и побуждения раствора в забой удобным является применение пропеллерной растворомешалки с пневмодвигателем.

Применение некомплектного цементационного оборудования

Иногда в практике цементации невозможно изготовить и приобрести цементационные комплексы или невозможно их применять (например, при углубке стволов и проходке слепых шахт).

Могут быть случаи, когда из-за небольшого объема работ применение цементационного оборудования нецелесообразно или при вскрытии неожиданных притоков воды требуется быстрое проведение цементации при отсутствии необходимого комплекса.

В таких случаях цементационное оборудование готовят на месте, используя имеющиеся средства.

В зависимости от местных условий для приготовления раствора может сооружаться растворосмесительный узел с соответствующими дозирочными приспособлениями непрерывного дей-

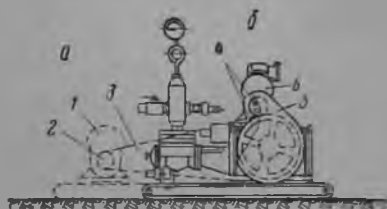


Рис. 66. Оборудование цементационного насоса пневмопроводом:

а — на клиноременной передаче; б — на зубчатой передаче; 1 — двигатель; 2 — шкив; 3 — клиновой ремень; 4 — зубчатая пара; 5 — кожух; 6 — двигатель

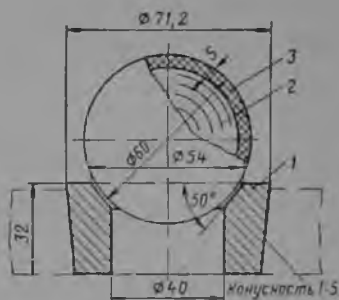


Рис. 67. Шаровой клапан:

1 — седло клапана (сталь, 45); 2 — шар (Ст. 5); 3 — резиновая оболочка

ствия в виде шнека (для цемента) и жидкостного счетчика (для воды). Могут применяться и обычные объемные дозаторы периодического действия.

При доставке цемента в мешках раствор может готовиться в забое на полке при насосе, для чего используется растворомешалка.

Для нагнетания раствора применяют насосы 11ГрЦ, 11ГрБ, ЗИФ-200/40, НГР-250/50, Гр-16/40. Насосы оборудуют пневмодвигателями ПРШ-16. Лучшим вариантом установки пневмодвигателя является установка его непосредственно на насосе с применением зубчатой передачи при передаточном отношении 1:3—1:4 (рис. 66).

Если невозможно изготовить зубчатую передачу, применяют клиноременную передачу. Двигатель располагают на насосе или на раме впереди насоса со стороны всасывающего отверстия. При этом длина насосной установки оказывается в 1,5—2 раза меньше, чем при обычном размещении двигателя позади насоса. Вместо тарельчатых клапанов насоса изготавливают и устанавливают шаровые. Седло клапана и шар в резиновой оболочке показаны на рис. 67.

В качестве нагнетательного шланга используют гибкий бронированный рукав с внутренним диаметром 38 мм (ГОСТ 6286—60). Этот рукав рассчитан на максимальное рабочее давление 105 кгс/см². Рукава выпускают длиной 2200 мм. Для получения

шланга достаточной длины обычно соединяют между собой три рукава. Заделка соединительных и концевых штуцеров в бронированные рукава показана на рис. 68. Как показывает практика, более простым и надежным против срыва рукава является второй

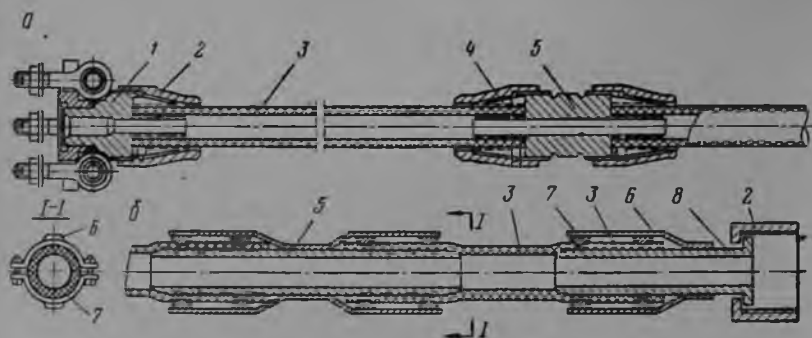


Рис. 68. Заделка штуцеров в нагнетательный шланг с помощью:

а — цанг и гайки; *б* — хомутов с планками. 1 — штуцер с фланцем; 2 — гайка; 3 — рукав; 4 — цанга; 5 — соединительный штуцер; 6 — планка; 7 — полухомут; 8 — кощевой штуцер

способ заделки — с помощью хомутов и привариваемых пластин, при котором безопасно выдерживается давление раствора 120 кгс/см^2 .

В качестве всасывающего шланга удобнее применять резино-тканевый рукав диаметром 63 или 76 мм с десятью слоями тканевой прокладки (ГОСТ 8318—57). Благодаря утолщенным стенкам такой рукав хорошо сохраняет форму при всасывании раствора (т. е. не сплющивается) и надежно противостоит механическим воздействиям, тогда как обычный гофрированный рукав быстро деформируется.

Легкие и надежные запорные краны могут изготавливаться в рудничных мастерских токарным способом. Благодаря сочетанию стального корпуса крана и латунной пробки обеспечивается прочность конструкции и плотность соединения. Пробковые краны такой конструкции, как показывает практика их применения, вполне надежны при давлении раствора до 80 кгс/см^2 . Для установки крана на кондуктор изготавливают соответствующую переходную муфту.

Бурение цементационных скважин в сильно обводненных зонах с высоким гидростатическим давлением, когда прорывы воды могут затопить ствол, осуществляют через специальные краны (превенторные устройства), сквозь которые пропускают буровой снаряд. В качестве такого крана может применяться пробковый кран (рис. 69). Кран необходимого размера, в зависимости от диаметра бурового снаряда, изготавливают на месте работы. В частности, трестом Кривбассшахтопроходка кран такой конструкции под корон-

ку диаметром 105 мм применяли при бурении скважин в стволе шахты «Южная».

Применение для такой цели задвижек нецелесообразно ввиду их недостаточной прочности, громоздкости и большого веса. К то-

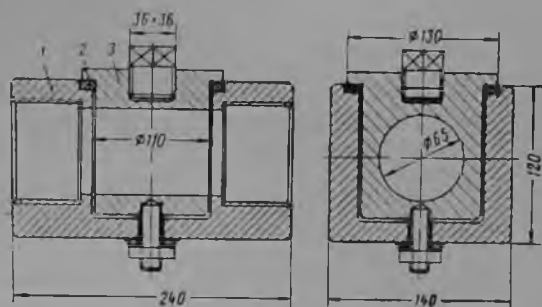


Рис. 69. Пробковый кран для пропуска бурового инструмента при бурении скважин:

1 — корпус; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — пробка

му же полость задвижки заполняется буровым шламом или цементом (при нагнетании раствора), что затрудняет перекрытие скважины.

В качестве средств бурения цементационных скважин рекомендуется применять буровые машины ПК-5Н, ПК-50, ПК-65, ГП-1, САБ-2, БСК-2м-100. Вместе с тем, учитывая, что в настоящее время в горной промышленности широкое применение нашли буровые станки типа НКР-100, изыскать которые легче, в рассматриваемых условиях цементации эти станки могут применяться чаще, несмотря на сравнительно высокую стоимость бурения из-за большого диаметра скважин.

Станки НКР-100 крепят в забое различными способами — с помощью П-образной рамы, специальной карусели или пригрузочной плиты. Эти приспособления загромождают забойное пространство или не обеспечивают жесткости крепления.

Более удобным является крепление станков НКР-100 непосредственно к кондукторам с помощью стойки и плиты (рис. 70). К трубчатой стойке диаметром 100 мм приваривается плита с отверстиями, соответствующими отверстиям на фланце кондуктора. На стойку насаживается кронштейн, на котором закрепляют станок. Стойку вместе со станком устанавливают на фланец кондуктора и закрепляют болтами.

Такое крепежное приспособление имеет минимальные размеры и обеспечивает строго центрированное и жесткое крепление бурового станка.

В случае применения при проходке ствола буровой установки БУС-1 перфораторы ПК-5Н и ПК-50 можно навесить на податчики этой установки и таким образом решить вопрос крепления их в забое.

6. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ПРИНЦИПЫ, ОПЕРАТИВНОЕ РУКОВОДСТВО И КОНТРОЛЬ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Наиболее целесообразным организационным решением является организация специализированного участка по цементации в системе каждого шахтопроходческого треста. Такой участок удобно вписывается в производственную структуру треста и управления.

Цементационный участок в качестве производственной единицы может входить в систему одного из шахтопроходческих (шахтостроительных) управлений, но обязательно должен находиться в подчинении треста.

Внутри участка в зависимости от объемов работ организуется несколько бригад, которые возглавляют инженеры или техники — руководители цементации (рис. 71). В свою очередь, бригада подразделяется на буровую группу и группу цементации, выполняющую работы по приготовлению и нагнетанию раствора.

Такая организационная структура участка со специализацией по видам работ способствует быстрому освоению процессов цементационных работ, достижению более высокой скорости и качества цементации, повышению ответственности каждой из групп бригады за выполняемые процессы, а также упрощает руководство цементацией и ее контроль.

Цементационный участок выполняет следующие работы:

- бурение разведочных скважин, на основе которого решается вопрос о надобности предварительной цементации, разрабатывается проект или корректируются проектные решения;
- возведение тампонажных подушек;
- бурение цементационных скважин;
- приготовление и нагнетание тампонажного раствора;
- контроль цементации;

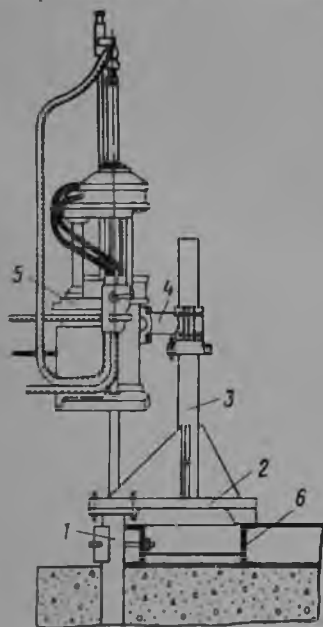


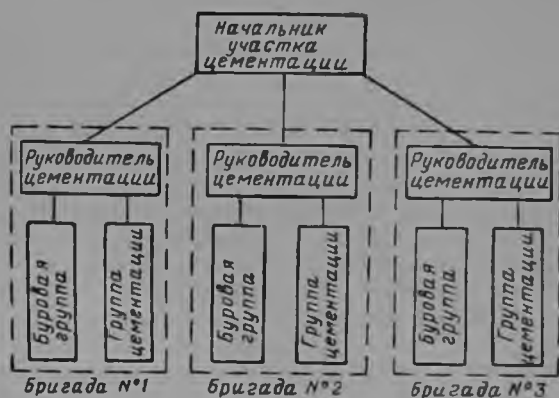
Рис. 70. Способ крепления в забое ствола бурового станка НКР-100

1 — кондуктор; 2 — плита; 3 — трубчатая стойка; 4 — кронштейн; 5 — станок НКР-100; 6 — кольцевая рама

монтаж, демонтаж и обслуживание цементационного оборудования (комплекса).

Система оплаты труда при цементационных работах сдельно-премиальная. За выполнение и перевыполнение установленного суточного плана бурения и цементации скважин разрабатывается дифференцированное премиальное поощрение. При этом учитывается и качество цементации (т. е. снижение притока воды до допустимой нормы и ниже).

Рис. 71. Организационная структура участка цементации



Оперативное руководство цементацией, осуществляемое главным образом руководителем бригады и начальником участка, включает следующее.

проведение ежесменных нарядов;

решение текущих вопросов цементации, например назначение очередности бурения скважин, состава тампонажного раствора, величины давления и др.;

обеспечение бригады оборудованием, материалами и инструментом;

принятие и реализацию решений по неожиданно возникающим вопросам, например при вскрытии крупных трещин с высокими водопритоками и значительным растворопоглощением, при вскрытии тонкотрещиноватых или заглинизированных зон, при обрушениях стенок скважин и прихватах бурового инструмента и др.;

ведение документации. При производстве предварительной цементации оформляют и составляют следующие документы, необходимые для предъявления заказчику при оплате работ, для оценки качества цементации, анализа и корректирования проектных положений:

«Книгу нарядов», ведущую по обычной форме, где фиксируют ежесменное задание бригаде и выполнение его;

«Журнал цементации скважин», состоящий из двух частей. В ней фиксируют основные показатели при нагнетании раствора.

К первой части журнала прилагают схему расположения скважин в двух проекциях и развернутый график бурения и цементации скважин. В графике отражают проектные, ежемесячно буримые и зацементированные скважины, а также отметки вскрытых водоносных трещин, величины водопритокков и количество поглощенного раствора и цемента.

Кроме того, прилагают линейный график цементации, в котором отражают последовательность отдельных работ и фактические затраты времени.

Во второй части журнала в произвольной форме регистрируют результаты бурения и испытания разведочных скважин, различные отклонения от прогнозных геологических и гидрогеологических условий, неожиданные особенности, обнаруживаемые при бурении цементационных скважин (крупные трещины или пустоты, зоны тонкотрещиноватых, заглинизированных или неустойчивых пород), различные осложнения при цементации и связанные с этим изменения или дополнения проектных положений с обоснованием принимаемых решений. В журнале отражаются результаты испытаний контрольных скважин и при необходимости дополнительные меры по доведению цементации до требуемого качества, а также результаты наблюдений зацементированного участка пород при проходке ствола и дается окончательная оценка проведенной цементации, проектным и принятым решениям с рекомендациями на последующие цементационные работы.

Контроль цементации включает комплекс мер по обеспечению и определению качества цементационных работ:

- бурение и испытание разведочных скважин;

- отбор образцов бетона и их испытание на сжатие при сооружении тампонажных подушек;

- испытание обуриваемых цементационных скважин на водоприток и удельное водопоглощение;

- полевые исследования тампонажных растворов для контроля их основных свойств;

- бурение или разбуривание контрольных скважин и их испытание на удельное водопоглощение;

- анализ документальных данных, оценка и составление акта о проведенной цементации;

- наблюдения зацементированных участков пород при проходке ствола.

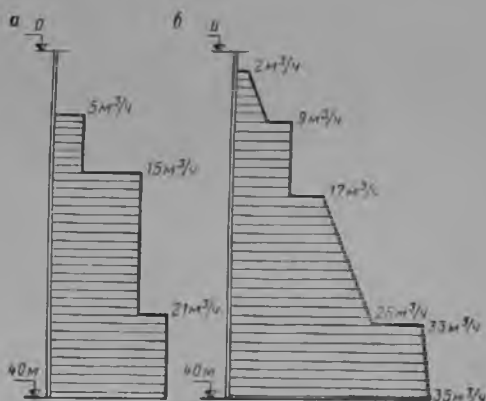
При бурении разведочных или первой серии цементационных скважин следует регулярно замерять приток воды из них. Построив затем эпюру водопритокков, представляется возможным судить о характере трещиноватости участка пород и на этом основании принимать определенные решения.

Например, эпюра, изображенная на рис. 72, а, свидетельствует о наличии разрозненных более или менее крупных трещин. Эпюра, изображенная на рис. 72, б, свидетельствует о наличии неравномерной трещиноватости, когда имеются крупные трещины (в ме-

стах скачков водопритока) и тонкотрещиноватые пласты (постепенно возрастающий приток). В первом случае участок можно цементировать сразу на полную глубину, во втором — участок следует разделить на несколько заходов цементации.

Рис. 72. Эпюры притоков воды из скважины на участках:

а — с крупными рассредоточенными трещинами; б — с неравномерными и неоднородными трещинами



Образцы бетона при сооружении тампонажной подушки изготовляют в забое ствола, отбирая смесь в различных участках подушки. Образцы испытывают на сжатие через каждые 12 ч времени.

По окончании цементации и испытания контрольных скважин организуется комиссия под председательством главного инженера шахтопроходческого (шахтостроительного) управления, на объекте которого производились работы.

Комиссия рассматривает проект цементации и вышеперечисленные документальные материалы, полученные при производстве работ. В результате изучения представленных материалов составляется акт, в котором кратко излагается суть проведенной цементации, дается оценка качеству работ и основание для проходки ствола по зацементированному участку.

При проходке ствола по зацементированному участку проводят дальнейшие наблюдения, в частности определяют остаточный водоприток, размеры трещин и характер трещиноватости, заполнение трещин тампонажным камнем, прочность и плотность самого камня, наличие в трещинах глины и влияние ее на качество цементации, изучают характер остаточных водонесточников. Прослеживают также влияние взрывных работ в стволе на целостность и устойчивость цементационной завесы.

Результаты этих наблюдений дают основание для окончательной оценки качества предварительной цементации, позволяют определить соответствие проектной технологии цементации данным гидрогеологическим условиям и наметить пути дальнейшего совершенствования ее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугораев Г. А. Новые технологические схемы цементации горных пород. «Сборник докладов и сообщений на научно-техническом совещании по тампонажу водоносных горных пород при проходке шахтных стволов». Харьков, 1965, с. 11—19.
2. Заковряшин И. И. За активное водоподавление при проходке стволов. «Шахтное строительство», 1960, № 7, с. 6.
3. Трупаков Н. Г. Цементация трещиноватых пород в горном деле. М., Металлургиздат, 1956, с. 79—85, 204, 295—297.
4. Стоев И. М. Из опыта тампонажа водоносных пород на проходках треста Луганскшахтопроходка. «Сборник докладов и сообщений на научно-техническом совещании по тампонажу водоносных пород при проходке шахтных стволов». Харьков, 1965, с. 112—115.
5. Дуда Е. Г. Специальные способы проходки вертикальных стволов шахт в условиях Кузбасса. «Сборник докладов и сообщений на научно-техническом совещании по тампонажу водоносных пород при проходке шахтных стволов» Харьков, 1965, с. 141—151.
6. Шкабара М. Н. Обобщение опыта тампонажа горных пород. М., Госгортехиздат, 1960, с. 94—97.
7. Борьба с водой при проходке шахтных стволов и рассечке околоствольных дворов на шахте «Родес» в Англии. М., Углетехиздат, 1957, с. 7—10, с. 16—18.
8. Грабиллин Ю. Н., Летник Б. Х. Проходка ствола на шахте «Хаус Аден» с предварительной цементацией пород из забоя (ФРГ). В сб. «Проектирование и строительство угольных предприятий, Госгортехиздат, 1962, № 7, с. 80.
9. Алексеев В. Л., Половов Б. Д., Щукин А. С.: Цементация пород из забоя при проходке вертикальных стволов». «Шахтное строительство», 1964, № 11, с. 25.
10. Зелинский В., Слободкин Д. С. и др. Борьба с шахтными водами. Киев, Госгортехиздат, 1963, с. 268.
11. Маньковский Г. И. Специальные способы сооружения стволов шахт. М., «Наука», 1965, с. 163—223.
12. Маньковский Г. И., Ершов Н. Н. Цементация при проходке горных выработок за рубежом. М., Углетехиздат, 1957, с. 125, 137—138.
13. Гончарук П. П., Клименко Ю. Т., Каганович М. З., Лаухин Ю. А., Фатеев Н. Т. Проходка наклонного ствола с применением химического способа укрепления пород. «Шахтное строительство», 1970, № 3, с. 22.
14. Цементация водоносных пород при проходке шахтного ствола в сложных гидрогеологических условиях в Венгрии. «Шахтное строительство», 1968, № 12, с. 25. Авт.: П. П. Гончарук, Я. Л. Клыков, Д. П. Трофимов и др.
15. Корецкий Б. А. Предварительная цементация пород с поверхности в Кузбассе. «Шахтное строительство», 1968, № 7, с. 28.
16. Зиберт Г. Ликвидация прорыва подземных вод при проходке ствола на шахте «Саксен», «Глюкауф», 1964, № 8, с. 487.

17. Бобров Р. И. Инъекционные завесы в нескальных породах. «Гидротехническое строительство», 1963, № 7, с. 47.
18. Проходка шахтных стволов в Южной Африке. В кн.: «Проходка шахтных стволов и туннелей». М., Госгортехиздат, 1961. с. 182. «Труды международного симпозиума».
19. R. A. Mudd. Pre-Grouting at N 2 D Shaft „President Brand Gold Mining Campanj” Limited „Jornal of the South African Institute of Mining Metallurgy”. 1959, v. 60, N 4, p. 180—190.
20. Волобуев С. Х. Цементация водоносных и газоносных пород при проходке вертикальных стволов. — «Шахтное строительство», 1967, № 4, с. 16.
21. Проект организации работ при предварительной цементации пород из забоя при проходке вертикальных шахтных стволов. Харьков, ВНИИОМШС, 1966, с. 75—76.
22. Калмыков Е. П. К вопросу о расчете тампонажных подушек. «Уголь», 1938, № 151 (7), с. 12.
23. Калмыков Е. П. Расчет тампонажных подушек. Сб. Проектирование и строительство угольных предприятий» 1963, № 9, с. 77.
24. Маньковский Г. И. Проходка вертикальных шахт ОНТИ—НКТИ. Главная редакция горно-топливной литературы, М.—Л., 1935, с. 364—365.
25. Андреев А. Н. Водонепроницаемые крепи шахтных стволов каллийных рудников. «Шахтное строительство», 1971, № 11, с. 25.
26. Трупаков Н. Г. О выборе угла наклона инъекционных скважин при устройстве противофильтрационных завес. — «Гидротехническое строительство», 1948, № 6.
27. Половов Б. Д. Методика определения количества и глубины скважин для предварительного тампонажа трещиноватых пород из забоя вертикального ствола. Изв. Вузов, «Горный журнал», 1966, № 1, с. 38—64.
28. Половов Б. Д. Расположение скважин по забоям вертикального ствола. Изв. Вузов, «Горный журнал», 1968, № 2, с. 24.
29. Жук Б. В. Исследования по цементации. Труды УкрНИИОМШСа, вып. IX, 1959, с. 63—65.
30. Логачев Н. Т. Определение оптимальной глубины участка цементации из забоя вертикального ствола. «Шахтное строительство», 1970, № 11, с. 6.
31. The use of chemicals in mine grouting. „The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin”, 1962, v. 55, N 603, p. 480—483.
32. ЮЖНИИ. Технические условия на производство и приемку строительных и монтажных работ. Раздел XV — цементационные работы, 1956.
33. Паронян Л. Н. Влияние добавки бентонитовой глины на основные свойства цементационных растворов. «Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», вып. 67, 1961, с. 210.
34. Митчару, Якуб. Добавка, уменьшающая размываемость свежих растворов и бетонных смесей и их водонепроницаемость в затвердевшем состоянии. — «Гидротехническое строительство», 1951, № 11.
35. Адамович А. Н., Арабаджян П. Р. Влияние вибродомола на свойства инъекционных растворов на пуццолановом цементе, применяемых для укрепления грунтов и бетонных кладок. «Известия ВНИИГ», вып. 67, 1961.
36. Логачев Н. Т. Цементационные растворы с добавками жидкого стекла и бентонита. «Гидротехническое строительство», 1966, № 7, с. 26.
37. Снижение стоимости цементации за счет применения химических добавок. Перевод ВИНТИ № 25622/2, 1962.
38. С. К. Chakshi. Pressure grouting and its Uses „Indian Concrete Journal”, 1956, v. 30, N 4, p. 100—103.
39. N. Jähde. Patent. WP 167, (DDR, 84S, 312).
40. Логачев Н. Т., Пономаренко Д. И. Опыт применения цементно-бентонитовых растворов для последующего тампонажа водоносных пород в шахтных стволах. М., «Недра», 1964, с. 1—8.
41. Гончарук П. П., Аблец В. И., Каганович М. З. Применение предварительной цементации из забоев стволов шахт в Криворожском бассейне. «Шахтное строительство», 1966, № 5, с. 4.
42. Ничипорович А. А. Противофильтрационные устройства земляных

и каменно-набросных плотин. «Гидротехническое строительство», № 2, с. 55, VII Международный конгресс по большим плотинам, 1962.

43. Гипрошахтостроймаш. Комплекс оборудования для предварительной цементации КЦт-1М, М., 1958.

44. Мушанов Ф. А., Казымов Ю. П. и др. Опыт проходки и укрепления вертикальных стволов на шахтах — новостройках комбината Донецкшахтострой. ЦНИИТЭИ угля, 1968, с. 54—64.

45. Клочко В. С. Комплексы цементационного оборудования конструкции ВНИИОМШСа. «Сборник докладов и сообщений на научно-техническом совещании по тампонажу водоносных горных пород при проходке шахтных стволов», Харьков, 1965, с. 38—47.

46. Гладун И. Н. Техническое задание на проектирование комплекса оборудования КЦ-10 для цементации горных пород с поверхности. В ст. «Труды Всесоюзного совещания по освоению месторождений в сложных условиях», М., «Недра», 1964, с. 106—114.

47. Комплекс оборудования КЦ-10 для цементации горных пород с поверхности при проходке шахтных стволов. «Шахтное строительство», — 1966, № 10

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр
Предисловие	3
Глава I. Цементация водоносных пород при проходке стволов шахт в несложных гидрогеологических условиях	8
1. Краткая геологическая и гидрогеологическая характеристика Криворожского железорудного бассейна	8
2. Предварительная цементация пород из забоя при проходке ствола шахты «Северная-Вентиляционная» рудника им. Коминтерна	11
3. Предварительная цементация пород в стволе шахты «Вентиляционная» № 2 рудника им. С. М. Кирова	14
4. Цементация пород при проходке ствола шахты № 10 рудника Ингулец	16
5. Предварительная цементация водоносных пород при сооружении ствола шахты «Клетская» рудника им. С. М. Кирова	17
6. Тампонаж химическим раствором рыхлых водоносных пород при проходке наклонного ствола	20
Глава II. Цементация водоносных пород при проходке стволов шахт в сложных гидрогеологических условиях	28
1. Предварительная цементация пород при проходке ствола шахты «Южная»	28
2. Цементационные работы при проходке ствола шахты лучевого водозабора	31
3. Организация и производство цементационных работ при сооружении ствола шахты Г-1 в ВПР [14]	37
Глава III. Основные вопросы проектирования, организации и производства предварительной цементации	57
1. Оценка и выбор технологических схем цементации	57
2. Расчет и технология возведения тампонажных подушек	65
3. Параметры участка цементации. Выбор буровых средств	73
4. Оценка и выбор эффективных тампонажных растворов	82
5. Механизация тампонажных работ	100
6. Организационные принципы, оперативное руководство и контроль при производстве предварительной цементации	122
Список литературы	126

Павел Павлович Гончарук, Анатолий Акимович Гуль, Юрий Тихонович Клименко, Яков Леонтьевич Кляхов, Моисей Залманович Кагацэвич, Николай Тихонович Логачев, Дмитрий Петрович Трофимов

Цементация пород при сооружении стволов шахт

Редактор издательства Э. Н. Чернегова Техн. редактор Н. К. Жидкова
Корректор Л. М. Кауфман

Сдано в набор 3/XI-1972 г.	Подписано в печать 10/I-1973 г.	T-01321
Формат 60×90 ¹ / ₁₆	Бумага № 2	Печ. л. 8,0
Тираж 1600 экз.	Заказ № 1674/1042—9	Уч.-изд. л. 8,65
		Цена 43 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Гретьяковский проезд, 1/19

Московская типография № 32 «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.

Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

43 коп.

НЕДРА . 1973