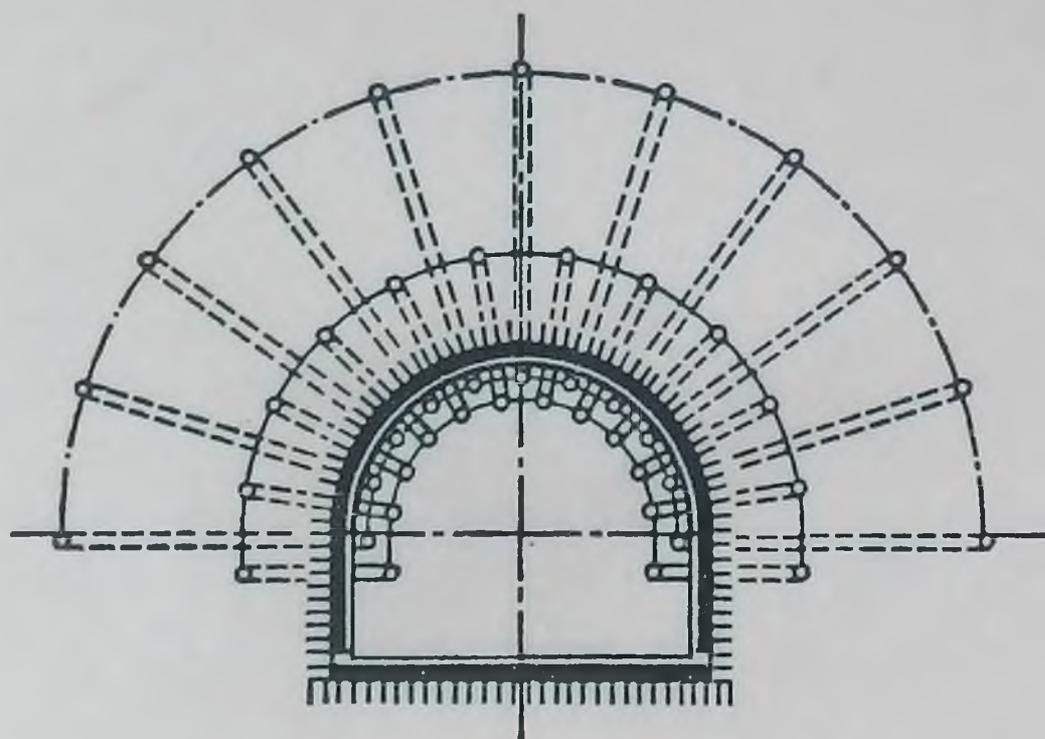


622.26

П-78

# ПРОВЕДЕНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ ВЫРАБОТОК В НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ

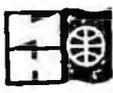


9005

622.26  
17-78

# ПРОВЕДЕНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ ВЫРАБОТОК В НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ

ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА	1
Инфр. _____	
Класс. № 47608	



МОСКВА "НЕДРА" 1990

ББК 33.15

П 78

УДК 622.26.023.62

Авторы:

В. А. ПОТАПЕНКО, Ю. В. КАЗАНСКИЙ, Б. В. ЦЫПЛАКОВ,  
В. Н. ГЕЛЕСКУЛ, Ф. А. КАРАСЕВ, Б. М. СУРОВСКИЙ, М. А. КОЗЛОВ

Рецензент д-р техн. наук, проф. *И. Л. Черняк*

Проведение и поддержание выработок в неустойчивых  
П 78 породах/В. А. Потапенко, Ю. В. Казанский, Б. В. Цыплаков  
и др. — М.: Недра, 1990. — 336 с.: ил.

ISBN 5—247—00503—1

Изложены горно-геологические и горнотехнические особенности проведения и поддержания подготовительных выработок в неустойчивых породах. Освещены технология и механизация проведения выработок обычными и специальными способами, приведены графики организации работ в забоях подготовительных выработок, обеспечивающие высокую скорость их проведения. Рассмотрены конструкции крепи и условия их взаимодействия с вмещающими породами. Даны рекомендации по выбору рациональных параметров крепей подготовительных выработок в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях и рациональные схемы крепления сопряжений и пересечений подготовительных выработок.

Для инженерно-технических работников угольной и горнорудной промышленности.

П 2502010400—051  
043(01)—90 240—89

ББК 33.15

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ (ПРАКТИЧЕСКОЕ) ИЗДАНИЕ

Потапенко Вячеслав Алексеевич  
Казанский Юрий Владимирович  
Цыплаков Борис Васильевич и др.

ПРОВЕДЕНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ  
ВЫРАБОТОК В НЕУСТОЙЧИВЫХ ПОРОДАХ

Заведующий редакцией *Е. И. Кит*  
Редакторы издательства *Э. Я. Освальдт, О. И. Сорокина, А. Д. Федорова*  
Переплет художника *Г. И. Бронниковой*  
Художественный редактор *О. Н. Зайцева*  
Технический редактор *Л. Я. Голова*  
Корректор *Л. В. Зайцева*

ИБ № 6952

Сдано в набор 17.08.89. Подписано в печать 13.12.89. Т-18457. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
Бумага типографская № 1. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 21.  
Усл. кр.-отт. 21. Уч.-изд. л. 21,7. Тираж 4750 экз. Заказ 1308/1257—7. Цена 1 р. 50 к.  
Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047 Москва, пл. Белорусского  
вокзала, 3

Московская типография № 11 Государственного комитета СССР по печати.  
113105, Москва, Нагатинская ул., д. 1

ISBN 5—247—00503—1

© Издательство «Недра», 1990

## Предисловие

Основная задача угольной промышленности — обеспечение народного хозяйства страны топливом при значительном улучшении технико-экономических показателей работы, в первую очередь при добыче угля подземным способом. Решение поставленной задачи во многом зависит от дальнейшего совершенствования на шахтах работ по проведению, креплению и поддержанию подготовительных горных выработок, от которых зависит своевременное воспроизводство фронта очистных работ и нормальное функционирование очистных забоев, так как трудоемкость их весьма значительна. Так, на шахтах Подмосковского угольного бассейна на работах по проведению, креплению и поддержанию подготовительных выработок занято около 35% общей численности рабочих, трудоемкость же их составляет 85,5 чел-смены на 1000 т добычи угля, или 26,4% общей трудоемкости. Это обусловлено несоответствием применяемых техники и технологии все усложняющимся горно-геологическим условиям и высоким уровнем ручного труда на указанных процессах, особенно на креплении и поддержании выработок.

Основными направлениями совершенствования работ по проведению, креплению и поддержанию подготовительных выработок в неустойчивых обводненных породах являются: создание средств комплексной механизации основных и вспомогательных процессов с элементами автоматизации и робототехники и на их базе переход на малооперационные поточные технологии; переход к безремонтному содержанию подготовительных выработок за счет внедрения металлических крепей повышенной несущей способности при многократном их использовании; сокращение протяженности проводимых и поддерживаемых подготовительных выработок путем создания и внедрения новых технологических схем подготовки и отработки угольных месторождений; разработка и внедрение технологических схем проведения подготовительных выработок с одновременным выполнением работ по осушению в сложных горно- и гидрогеологических условиях. В указанных направлениях учеными и конструкторами ПНИУИ, ВНИИОМШС, ИГД им. А. А. Скочинского, ЦНИИподземмаша, ТулПИ, МГИ, работниками производственных объединений «Новомосковскуголь» и «Тулауголь» проведена большая работа. Ознакомить инженерно-технических работников угольной и других отраслей горнодобывающей промышленности с ее результатами — цель настоящей книги.

# 1. ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОДМОСКОВНОГО БУРОУГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

## 1.1. Характеристика вмещающих пород и угольных пластов

Подмосковный бассейн, характерный геологический разрез которого приведен на рис. 1.1, является типичным среди угольных месторождений с неустойчивыми вмещающими породами. Площадь бассейна имеет подковообразную форму с открытой стороной на восток и включает обособленные пластообразные линзы (залежи) сложной конфигурации. Протяженность таких линз с рабочей мощностью пласта колеблется от нескольких сот метров до 4—6 км. Мощность угольных пластов непостоянна и изменяется в широких пределах. Границы бассейна на юге, западе и северо-западе четко прослеживаются по выходам девонских отложений. На востоке и северо-востоке они проведены условно, так как угленосные отложения здесь перекрыты более поздними осадками значительной мощности.

В геологическом строении бассейна принимают участие отложения верхнего девона, всех трех отделов карбона, местами юрские, меловые и четвертичные отложения. Угленосные отложения в бассейне приурочены к нижнему отделу карбона.

Отложения верхнего девона являются подстилающими для угленосных толщ. На юге бассейна они обнажены и представлены преимущественно доломитизированными известняками и мергелями с мощным слоем гипса, в меньшей степени песками и глинами. На севере верхнедевонские отложения постоянно углубляются под толщу более молодых отложений. Они сложены в основном песками, песчаниками и глинами, известняки играют второстепенную роль. Отложения верхнего девона выдержаны, их мощность составляет 180—250 м.

Отложения карбона распространены повсеместно. Границей между верхнедевонскими и нижнекарбонными отложениями служат переходные малевско-муравлинские глины с прослоями известняка мощностью до 10—12 м, являющиеся хорошим водоупором. Нижнекарбонные отложения начинаются упинскими известняками мощностью 15—26 м. За ними следуют чернышинские слои глин и песков, перекрытые плотными известняками. Чернышинские слои сохранились только частично, так как подвергались сильному размыву, захватившему местами даже верхнедевонские отложения. На образовавшейся размытой поверхности располагаются угленосные толщи.

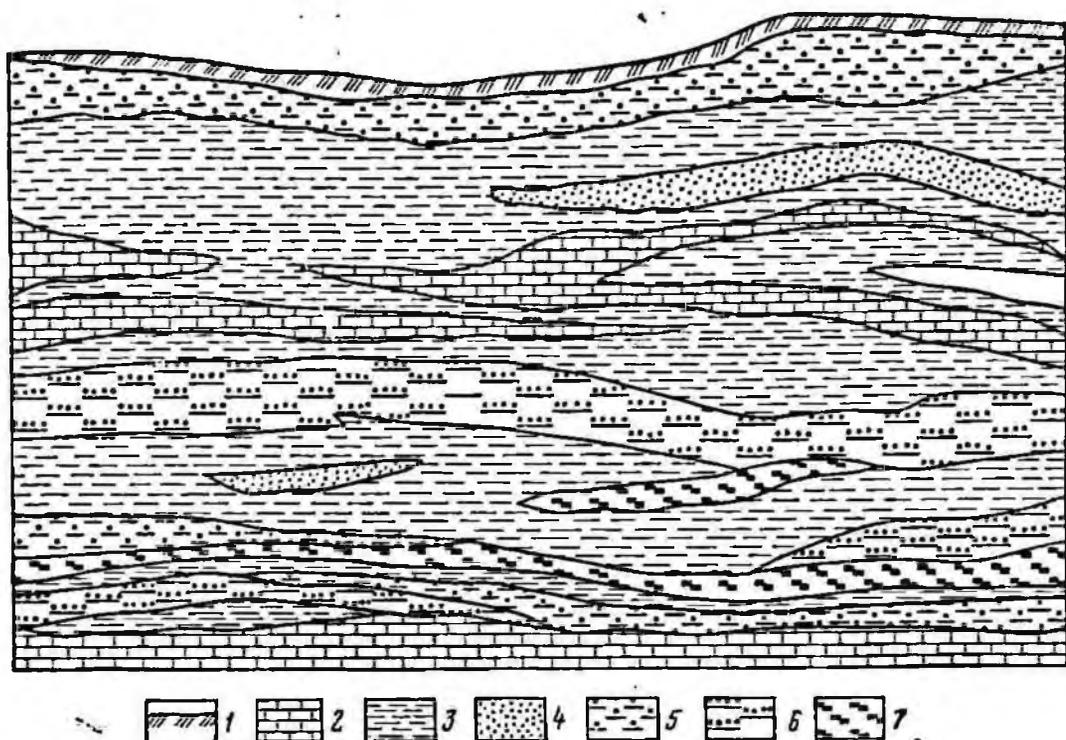


Рис. 1.1. Характерный геологический разрез Подмосковского бассейна:  
 1 — почвенно-растительный слой; 2 — известняк; 3 — глина; 4 — песок; 5 — песчаная глина; 6 — обводненный песок; 7 — бурый уголь

Угленосные отложения по своему возрасту определяются как верхне- и нижнетурнейские. Они не выдержаны в разрезе и по простиранию, причем наблюдается резко выраженная фациальная их изменчивость. Мощность отложений, представленных песками, глинами с пластами угля и, как исключение, прослоями известняка, от 0 до 80 м. Рабочий пласт угля расположен в основании угленосной толщи на глубине 25—140 м. Он имеет преимущественно сложное строение, зольность угля колеблется от 25 до 50%. Мощность его изменяется от 0 до 4 м, увеличиваясь на ограниченных участках до 6—8 м. Выше и ниже главной залежи залегают еще до четырех пластов угля. Однако они менее выдержаны по мощности и ограничены по простиранию. Распределение запасов угля в интервалах мощности угольного пласта по перспективным месторождениям бассейна характеризуется следующими данными:

Мощность угольного пласта, м . . . . .	1,1—1,3	1,3—1,5	1,5—1,8	1,8—2,2
Удельный вес в геологических запасах, % . . . . .	1,1	10,9	18,9	26,3
Мощность угольного пласта, м . . . . .	2,2—2,5	2,5—3	3—3,5	>3,5
Удельный вес в геологических запасах, % . . . . .	17,6	14,9	6,2	4,1

Верхняя часть угленосных отложений представлена тульской толщей мощностью 15—30 м, состоящей из песков, песчаников, мергелей, глин с прослойками известняков (до пяти) в виде крупных псевдосланцевых линз. Иногда встречаются пропластки угля, изредка достигающие рабочей мощности. Выше последовательно расположены алексинская, михайловская и веневская толщи, представленные известняками и прослоями глин. В михайловской толще встречаются пропластки угля. Распространенность всех трех толщ весьма ограничена. Нижний отдел карбона заканчивается серпуховской свитой мощностью 50 м, состоящей из известняков и глин. Она подверглась сильному размыву и имеет ограниченное распространение.

Средний карбон, мощность которого составляет 140—180 м, распространен в центральной и северной частях бассейна. Он сложен в основном известняками, а также песками и глинами.

Верхнеюрские отложения залегают на сильно размывтой поверхности отложений карбона и представлены песками и глинами. Максимальную мощность (до 30 м) они имеют в центральной части бассейна, уменьшаясь к югу до 1—2 м.

Нижне- и верхнемеловые отложения сложены глинами и песками (нижний мел), переходящими в песчаники (верхний мел). Нижнемеловые отложения мощностью до 10—15 м распространены в южной и центральной частях бассейна, верхнемеловые — в восточной части.

Третичные отложения на территории бассейна отсутствуют. Все нижележащие породы перекрываются четвертичными лесовидными суглинками мощностью до 12—15 м (южное крыло) и моренными глинами (северо-западное крыло).

Тектоническая структура бассейна простая. Все отложения слабо наклонены (2—3 метра на 1 км) к центру подмосковной котловины и характеризуются небольшой складчатостью, вызванной незначительными тектоническими подвижками и карстовыми процессами. В связи с широким распространением карстов угленосная толща имеет много нарушений в основном без разрыва сплошности, что обуславливает слабоволнистую гипсометрию почвы угольных пластов.

В соответствии с принятой классификацией вмещающие пласты породы делятся на ложную, непосредственную и основную кровли, непосредственную и основную почвы.

Ложная кровля контактирует с пластом угля и легко отделяется от вышележащей породы. Она представлена трещиноватыми углистыми аргиллитами, песчаными глинами, тонкопесчаными глинисто-песчано-алевролитовыми породами. Мощность пород ложной кровли 0,1—0,6 м, иногда превышает 1—1,5 м.

Непосредственная кровля, представленная переслаивающимися песчано-глинистыми породами, контактирует с угольным пластом или располагается на ложной кровле. Ее мощность колеблется от 0 до 5—6-кратной мощности угольного пласта угля. Непосредственная кровля обрушается через несколько минут после обнажения.

Основная кровля залегает на непосредственной кровле, реже на пласте угля. Она представлена глинами, нижнетульскими песками, известняками тульского и окского горизонтов. Породы, залегающие выше известняков, являются верхней границей основной кровли.

Непосредственная почва угольных пластов — тонкозернистые, нередко углистые породы, несущая способность которых зависит от петрографического и гранулометрического состава, степени метаморфизма и обводненности.

Основной почвой являются породы известнякового фундамента, отделенные от угольного пласта песчано-глинистой непосредственной почвой мощностью до 10—15 м. На отдельных участках месторождений мощность непосредственной почвы уменьшается до 1—2 м.

Подугольные и надугольные пески по гранулометрическому составу относятся к мелкозернистым. При насыщении водой они становятся подвижными (до 70% — частицы размером 0,05—0,25 мм), а с примесями тонкодисперсных глинистых частиц приобретают свойства плывунов. Предел прочности их на сжатие 0,1—0,3 МПа; угол внутреннего трения 30—35°.

Глины по своим физико-механическим свойствам и гранулометрическому составу делятся на пластичные (жирные), непластичные (плотные, углистые) и песчаные (суглинки, супеси).

Пластичные глины образуют почву и кровлю пластов. Они интенсивно поглощают влагу, при этом размокая и почти полностью теряя несущую способность. Их предел прочности на сжатие 1,7—4,4 МПа, угол внутреннего трения 5—10°, коэффициент Пуассона 0,35—0,4 (при размокании до 0,5).

Непластичные глины, встречающиеся в непосредственной кровле пласта, размокают слабо. Их предел прочности на сжатие 5—7,5 МПа, угол внутреннего трения до 20°, коэффициент Пуассона 0,3—0,4.

Песчаные глины легко размокают в воде. При этом несущая способность их значительно снижается. Для песчаных глин в виде суглинков предел прочности на сжатие 2,5—4,5 МПа, угол внутреннего трения 25—30°, коэффициент Пуассона 0,3—0,43, для супесей — соответственно 1,7 МПа, 30° и 0,23.

По несущей способности вмещающие породы делятся на очень слабые (обводненные пластичные и песчаные глины, пески) с пределом прочности на вдавливание до 0,3 МПа, сла-

бые (увлажненные глины и пески) — 0,3—1,5 МПа, средней прочности (сухие глины с нарушенной структурой) — 1,5—3 МПа, прочные (сухие глины) — 3—5 МПа, очень прочные (углистые глины, известняки, аргиллиты, уголь) — более 5 МПа.

Таким образом, вмещающие породы в бассейне имеют незначительную прочность, не допускают больших обнажений, отличаются исключительной изменчивостью физико-механических свойств, строения и состава слоев по площади месторождений, склонны к водонасыщению, отрицательно влияющему на их прочностные свойства. Волнистая гипсометрия залегания угольного пласта способствует скоплению воды в пониженных местах, что резко снижает несущую способность почвы.

## 1.2. Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия угольных месторождений Подмосковского бассейна весьма сложны, так как все надугольные, а зачастую и подугольные толщи обводнены. Девонские, упинские, чернышинские, окские, серпуховские, протвинские, каширские известняки, а также бобриковские, тульские и мезозойские пески являются водоносными. Многочисленны часто не выдержанные по мощности и площади распространения слои водоупорных глин, карстовые образования и размывы. Все это обуславливает наличие большого числа водоносных горизонтов, установление гидравлической связи между ними, а также инфильтрацию и подпитывание.

Основные водоносные горизонты Подмосковского бассейна объединены в следующие группы:

горизонты известнякового фундамента — верхнедевонский (восток южного крыла); упинский (центральная часть южного крыла); чернышинский (черепетский район); горизонт лихвинских доломитов (северо-западное крыло);

горизонты угленосной толщи — бобриковский (подугольные и надугольные пески); нижнетульский (надугольные пески);

горизонты основной кровли: тульские известняки (до пяти подгоризонтов); окский (алексинские, михайловские, веневские известняки); серпуховские известняки; протвинские, каширские, подольские, мягковские известняки и доломиты.

Основными источниками обводнения горных выработок на освоенных месторождениях являются наиболее водообильные горизонты известнякового фундамента и угленосной толщи. Так, в центральном районе южного крыла бассейна — это воды упинского и надугольных горизонтов, а также воды тульских известняков. Напоры упинских вод на почву угольного пласта достигают 20 м. Мощность обводненных надугольных песков составляет в среднем 15 м. Приток воды в шахту дос-

тигает; 100—200 м<sup>3</sup>/ч. При обработке недостаточно осушенных месторождений возникают многочисленные прорывы воды из надугольных песков, иногда мощные прорывы воды из тульских известняков.

При разработке новых месторождений, расположенных в северо-западной части бассейна, помимо водоносных горизонтов известнякового фундамента и угленосной толщи, источником обводнения являются водоносные горизонты основной кровли. Хотя эти горизонты изолированы толщей водоупорных пород, наличие геологических нарушений обуславливает неожиданные, иногда катастрофические по силе прорывы воды и плывунов. Для новых месторождений характерны весьма большие напоры воды как в почве, так и в кровле угольного пласта. Так, напоры вод известнякового фундамента на почву угольного пласта достигают на месторождениях в восточном районе центральной части бассейна 35—40 м при мощности обводненных песков 30 м, а притоки воды в шахту — до 800 м<sup>3</sup>/ч.

Особенно высоки напоры подугольных вод на почву угольного пласта (35—85 м) в западном и северном районах южного крыла, а также на северо-западном крыле бассейна. Напоры воды в надугольных песках здесь достигают 85 м. Наличие в кровле мощных сильнотрещиноватых известняков окской свиты с напорами воды до 35 м и коэффициентами фильтрации 75—300 м/сут осложняет освоение этих месторождений. При их разработке притоки воды в шахту достигают 600—1200 м<sup>3</sup>/ч.

Значительная обводненность большинства угольных месторождений в Подмосковном бассейне требует эффективного осушения вмещающих пород, которое обычно ведется в два этапа: предварительным осушением водопонижающими скважинами с поверхности и подземным осушением при ведении горных работ.

Предварительным осушением практически невозможно снизить напоры надугольных вод ниже 10 м, в результате чего подготовительные выработки, особенно в пониженных местах залегания угольного пласта, проводят в обводненных породах. Это приводит к прорывам обводненных песчано-глинистых пород со всеми вытекающими негативными последствиями. Для их исключения применяют технологию проведения подготовительных выработок с опережающим забой осушением пород непосредственной кровли угольного пласта.

Обводненные подугольные породы характеризуются весьма малой несущей способностью. При осушении слабофильтрующих песчаных пород в призабойной части штрека используют средства с вакуумированием иглофильтров, проводят дренажные каналы, сооружают водопонижающие колодцы. Для уменьшения вдавливания стоек рамной крепи в почву используют замкнутую крепь, применение которой значительно снижает

скорость проведения выработок, не давая зачастую эффекта из-за пучения почвы, деформирующего нижние элементы крепи.

Большие трудности при ведении горноподготовительных работ вызывает встреча забоем карста (особенно заполненного обводненными песчано-глинистыми породами), имеющего гидравлическую связь с надугольными водоносными горизонтами. Как правило, такие породы, обладающие свойствами пльвуна, не поддаются осушению даже с помощью вакуумирования.

### 1.3. Классификация условий проведения и поддержания выработок

Крайнее непостоянство строения вмещающих пород и высокая их обводненность затрудняют выбор единого критерия оценки условий поддержания выработок в Подмосковном бассейне. В работе [6] в качестве такого критерия предложено использовать отношение предела прочности пород почвы на вдавливание штампа площадью  $10 \text{ см}^2$  к уровню напряженного состояния массива:  $\sigma_{вд}/\gamma H$ , где  $\gamma$  — удельный вес пород кровли,  $\text{МН/м}^3$ ;  $H$  — глубина расположения выработки, м.

Однако этот показатель не учитывает строение и состав пород кровли, обводненность и, что особенно важно для условий Подмосковного бассейна, взаимосвязь между глубиной заложения выработки, смещениями пород по ее контуру и нагрузкой на крепь.

Отсутствие обоснованной классификации условий поддержания выработок отрицательно влияет на выбор типа и параметров крепи, приводит к ошибкам в определении истинных свойств пород кровли и почвы выработки, установлении схем и параметров взаимодействия крепей с вмещающими породами, затрудняя тем самым создание эффективных средств и способов крепления и охраны выработок.

Из-за отсутствия количественного критерия условия поддержания выемочных выработок в Подмосковном бассейне оцениваются качественно на основе данных практики, натуральных наблюдений и результатов исследований, выполненных ПНИУИ, ВНИМИ и ТулПИ. При этом учитываются тип, состав, строение и мощность пород кровли и почвы, их расположение относительно угольного пласта, обводненность вмещающих пород, наличие прослоев (преимущественно пластичных глин) и их мощность, наличие подрывки пород при проведении выработки и др.

По составу и мощности непосредственную кровлю угольного пласта делят на легкую, среднюю и тяжелую.

Кровля считается легкой, если непосредственно над угольным пластом залегают мощные (более 5 м) слои песка,

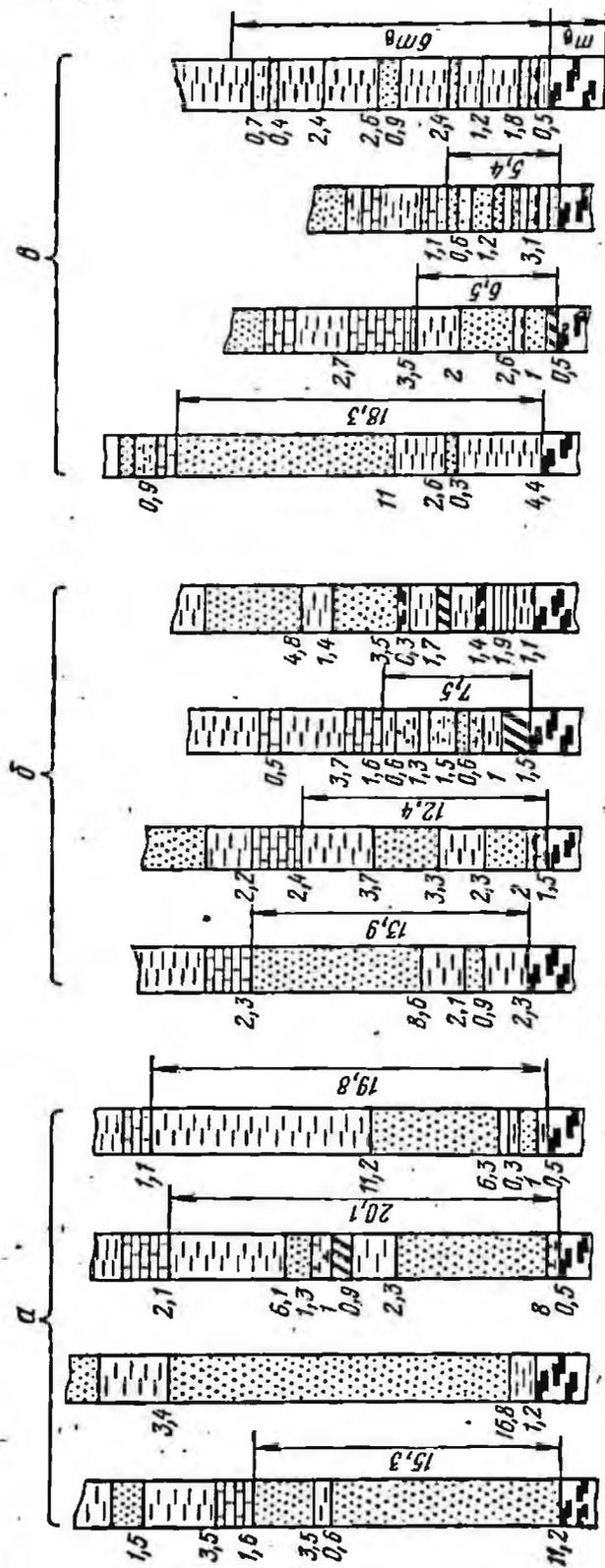


Рис. 1.2. Стратиграфические колонки кровли угольного пласта:  
 а — легкой; б — средней; в — тяжелой

иногда отделенные от пласта слоем глины мощностью до 1,5 м, а ближайшие вышележащие известняки залегают не ближе 15 м или отсутствуют вовсе.

При средней кровле непосредственно над угольным пластом залегают слои плотных глин мощностью 1,5—3 м, а выше его — песок с маломощными прослойками других пород, при расстоянии до ближайших известняков более 7 м. К такой же кровле относится непосредственная кровля, представленная песчано-глинистыми породами любой мощности, при расположении ближайших известняков на расстоянии 7—15 м от пласта.

Кровлю угольного пласта относят к тяжелой, если непосредственно над пластом залегают монолитный слой плотных или пластичных глин мощностью более 3 м при различном расстоянии до вышележащего пласта известняка, или если непосредственно над угольным пластом залегают любые породы, но расстояние до ближайшего пласта известняка менее 7 м. В толще пород, равной по мощности 6-кратной вынимаемой мощности угольного пласта, плотные и пластичные глины составляют более 75%, пласты известняка отсутствуют.

Характеристика и литологический состав кровель соответствуют стратиграфическим колонкам, приведенным на рис. 1.2.

По устойчивости различают весьма неустойчивую, неустойчивую, среднеустойчивую и устойчивую непосредственную кровлю. Их характеристика приведена в

ТАБЛИЦА 1.1

Кровля	Состав пород	Продолжительность обнажения до обрушения, ч	Удельный вес в протяженности проводимых выработок, %
Весьма неустойчивая	Пески различной мощности, плавуны	Не допускает обнажений	20
Неустойчивая	Сцементированные пески, песчаные глины различной мощности или плотные глины мощностью до 0,5 м	0,5 при расстоянии от забоя до крепи 0,7—1 м	42
Среднеустойчивая	Плотные глины мощностью 0,5—1,5 м	1—1,5 при расстоянии от забоя до крепи 1—1,5 м	25,5
Устойчивая	Плотные глины мощностью более 1,5 м	4 при расстоянии от забоя до крепи 1,5—2 м	12,5

табл. 1.1. На шахтах Подмосковского бассейна преобладают неустойчивые и весьма неустойчивые кровли.

По составу и строению пород почвы условия поддержания выработок разделяют на следующие три группы:

первая — в почве выработки залегают сухие пески или известняки, непластичные глины (углистые и сланцевые) или угольная пачка мощностью не менее 0,3 м, ниже которой располагаются породы, не склонные к пучению. В угольном пласте отсутствуют прослойки пластичных глин или их суммарная мощность не превышает 0,2 м. Прослойки других пород могут быть большей мощности. Подрывка не склонных к пучению пород в кровле или почве угольного пласта либо одновременно в кровле и почве не превышает 0,7 м. Породы не обводнены или обводнены незначительно. При залегании в почве выработки угля, известняка или пластичных глин обводненность может быть значительной;

вторая — в почве выработки залегают слабообводненные пески (песчаные глины) или угольная пачка мощностью менее 0,3 м, ниже которой располагаются обводненные пески (песчаные глины). Угольный пласт включает прослойки пластичных глин мощностью до 0,4 м, прослойки непластичных глин и песка могут быть большей мощности. Подрывка не склонных к пучению пород в кровле или почве угольного пласта или одновременно в кровле и почве не превышает 1 м. Породы обводнены, причем, если в почве залегают пачка угля, обводненность может быть значительной;

третья — в почве выработки залегают мелкозернистые илистые сильнообводненные пески или пластичные глины, сильнообводненные песчаные глины или пачка угля, ниже которой располагаются пластичные глины. В угольном пласте имеются прослойки пластичных глин суммарной мощностью более 0,4 м, прослойки непластичных глин могут быть большей мощности. Подрывка склонных к пучению пород в кровле или почве угольного пласта или одновременно в кровле и почве превышает 1 м. Породы сильно обводнены, в надугольных песках могут быть напорные воды.

Участки выработок с мульдообразными понижениями и геологическими нарушениями относят по сложности к следующей группе условий поддержания по отношению к группе, определенной для всей выработки.

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ И МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК ОБЫЧНЫМ СПОСОБОМ

### 2.1. Общие положения

Для обеспечения планового уровня добычи угля на шахтах Подмоскoвнoгo бассейна ежегодно проводится 170—180 км выработок различного назначения, из которых 90—93% приходится на вскрывающие и подготавливающие, 7—10% — на нарезные и прочие выработки.

К вскрывающим выработкам (одно- или двухпутным), называемым также штреками главных направлений, относят главные (магистральные) откаточные и вентиляционные штреки, с помощью которых подготавливаются к отработке запасы крыла или отдельной панели шахтного поля. Главные откаточные штреки проводятся по заданному профилю в подугольной толще пород, главные вентиляционные — как по заданному профилю в подугольной толще пород, так и по угольному пласту.

Подготавливающие выработки (конвейерные и вентиляционные), называемые также выемочными, оконтуривают выемочные столбы и проводятся по угольному пласту.

В условиях месторождений Подмоскoвнoгo бассейна число вариантов подготовки крыла или панели шахтного поля ограничено и сводится к четырем основным вариантам (рис. 2.1).

При электровозном транспорте основного и вспомогательного грузов подготовка ведется по схемам, приведенным на рис. 2.1, а и б. Первая из них предусматривает проведение двух штреков главных направлений: двухпутного, предназначенного для основного и вспомогательного транспорта, и однопутного, служащего для подачи свежего воздуха и вспомогательного транспорта. По второй схеме подготовка осуществляется тремя однопутными штреками главных направлений, из которых два, соединенные системой заездов, предназначены для транспортирования основного груза, третий — для подачи воздуха и вспомогательного транспорта.

При конвейерном транспорте основного груза подготовка выработок также ведется по двум схемам (см. рис. 2.1, в и г). В первой из них подготовка осуществляется двумя двухпутными штреками, один из которых служит для размещения магистрального конвейера и рельсового пути для вспомогательного транспорта и обслуживания конвейерного штрека, второй — для подачи свежего воздуха и вспомогательного транспорта.

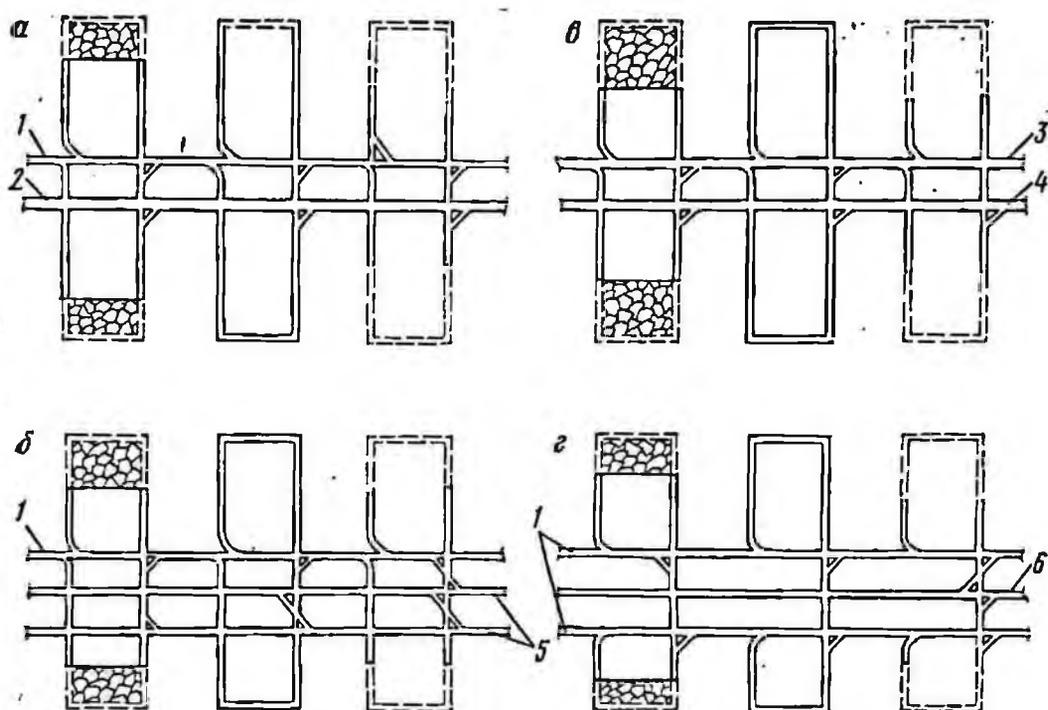


Рис. 2.1. Варианты схем подготовки шахтного поля:

а — однопутным вентиляционным и двухпутным откаточным главными штреками; б — однопутным вентиляционным и двумя однопутными откаточными главными штреками; в — двумя двухпутными вентиляционным и конвейерным главными штреками; г — двумя однопутными вентиляционными и однопутным конвейерным главными штреками; 1 — однопутные вентиляционные главные штреки; 2 — двухпутный откаточный главный штрек; 3 — двухпутный вентиляционный главный штрек; 4 — двухпутный конвейерный главный штрек; 5 — однопутные откаточные главные штреки; 6 — однопутный конвейерный главный штрек

Схема (см. рис. 2.1, г) предусматривает проведение трех однопутных штреков главного направления: одного для размещения магистрального конвейера и двух для вспомогательного транспорта и подачи воздуха.

Во всех вариантах подготовки свежий воздух подается по вентиляционным штрекам главных направлений, затем по системе сбоек и кроссингов поступает в очистной забой со стороны выемочного вентиляционного штрека. Исходящая из очистного забоя струя воздуха отводится по выемочному конвейерному штреку на главный конвейерный штрек и далее по стволу на поверхность. При большой длине крыла шахтного поля или панели применяется фланговая схема проветривания с отводом исходящей струи воздуха на поверхность по вентиляционным шурфам или скважинам.

На шахтах Подмосквовного бассейна применяется только нагнетательный способ проветривания.

В зависимости от конфигурации и размеров шахтного поля, места заложения стволов и околоствольных дворов число крыльев и панелей в шахтном поле может быть различным. Подготовка крыла или отдельной панели может осуществляться

ся с одно- или двухсторонним расположением очистных забоев.

Принятые на шахтах бассейна схемы подготовки крыльев шахтного поля или панелей предусматривают опережение штреками главных направлений места расположения погрузочного пункта последнего обрабатываемого выемочного столба. С учетом конкретных гидрогеологических и горнотехнических условий, средней скорости проведения выработок и сроков отработки выемочных столбов во всех вариантах подготовки это опережение должно составлять не менее 400—500 м.

Длина выемочных столбов, а следовательно и длина проводимых для их оконтуривания штреков, определяется конфигурацией обрабатываемого месторождения, принятой раскройкой шахтного поля, размерами панели и т. д. Преобладающая длина выемочных штреков — 300—900 м, только 10—11% общего числа проводимых штреков имеет длину 900—1200 м.

Длина нарезных выработок зависит от длины применяемых очистных механизированных комплексов и, как правило, не превышает 100 м.

Наибольшее распространение на шахтах бассейна имеет комбайновый способ проведения выработок (80—90% общей протяженности проводимых выработок). Остальные 10—20% выработок проводятся с помощью отбойных молотков при погрузке отбитой горной массы погрузочными машинами или вручную. Буровзрывные работы применяются на отдельных участках проводимой выработки. Проходческие щиты используются в основном при строительстве новых шахт. Протяженность выработок, проводимых щитами, не превышает 1 км в год.

В связи с неустойчивостью вмещающих пород площадь поперечного сечения подготовительных выработок не превышает обычно 8—12 м<sup>2</sup>. Удельный вес выработок с большей площадью поперечного сечения составляет примерно всего 8—10%.

За последние годы сократилась протяженность проведения выработок по углю, в результате чего доля выработок, проводимых смешанным забоем, увеличилась почти до 95%. Это связано с меньшей геологической мощностью пластов на вновь осваиваемых месторождениях и вовлекаемых в разработку приконтурных и резервных полях действующих шахт.

Подготовка к отработке выемочных столбов на шахтах Подмосковского бассейна осуществляется по одной из приведенных на рис. 2.2 схем. При схеме подготовки через столб, а также в случаях подготовки промежуточных столбов с оставлением целиков со стороны выработанного пространства выемочные штреки проводят по целику угля, а при бесцеликовой подго- совке — вприсечку к выработанному пространству.

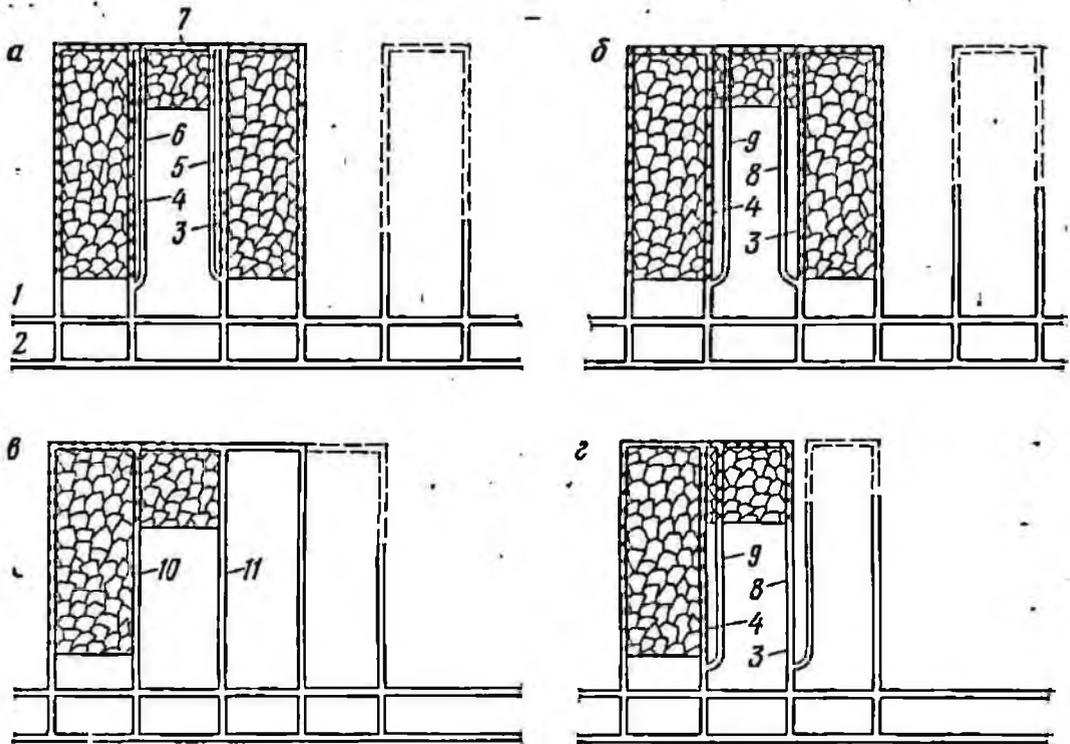
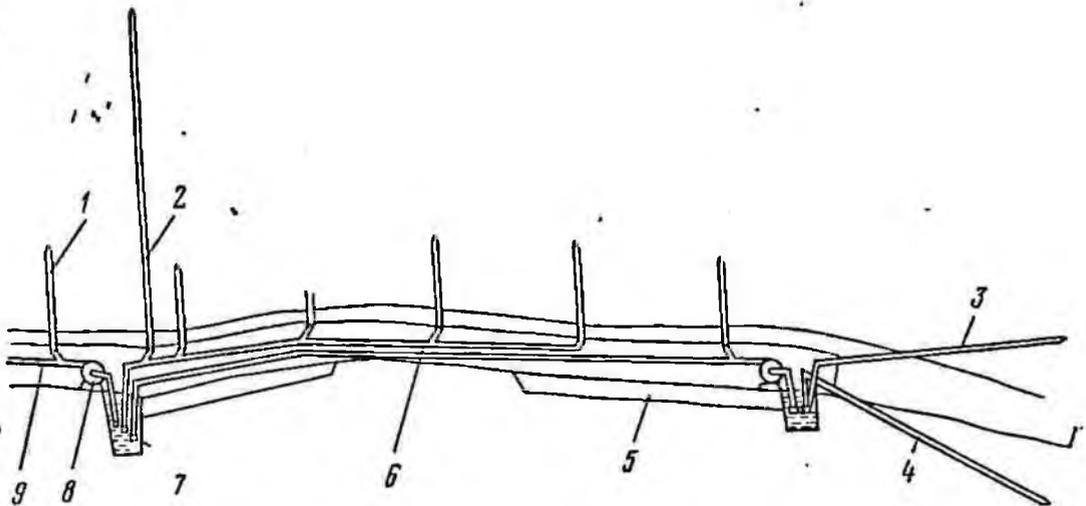


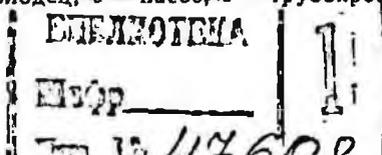
Рис. 2.2. Схемы подготовки и отработки выемочных столбов:

*a* — через столб без оставления целиков угля; *б* — то же, с охраной штреков целиками угля; *в* — последовательная с сохранением штреков на границе с выработанным пространством; *г* — то же, с охраной штреков целиками угля; 1, 2 — соответственно вентиляционный и откаточный главные штреки; 3 и 4 — соответственно вентиляционный и конвейерный выемочные штреки, проводимые по целику угля; 5 и 6 — то же, проводимые вприсечку; 7 — монтажная камера; 8 и 9 — выемочные штреки, проводимые по целику угля; 10, 11 — соответственно сохраняемый и сохраняемый выемочные штреки



2.3. Типовая схема осушения при проведении выемочного штрека:

1 — забивной фильтр; 2 — восстающая скважина; 3, 4 — соответственно восходящая и нисходящая наклонные скважины; 5 — дренажная канава; 6 — коллектор; 7 — перекачной колодец; 8 — насос; 9 — трубопровод



Значительная обводненность большинства месторождений бассейна обуславливает необходимость выполнения работ по осушению уже в процессе подготовки выемочных столбов. Чаще всего осушение ведется по схеме (рис. 2.3), включающей бурение наклонных и восстающих скважин, установку забивных фильтров, устройство дренажной канавы, подготовку насосных камер и водопонижающих (перекачных) колодцев на участках выработок с низкими отметками.

Проведение выработок всех назначений в бассейне осуществляется с применением электровозного транспорта и с помощью лебедок с концевым канатом.

## 2.2. Средства механизации проведения горных выработок

Как указывалось выше, преобладающее распространение при проведении подготовительных выработок различного назначения на шахтах бассейна имеет комбайновый способ, обеспечивающий достижение высоких технико-экономических показателей, прежде всего скорости проведения. Наибольшее применение получили комбайны типа ПК-3 (ПК-3М, ПК-3В, ПК-3Р), которые составляют примерно 90% всего комбайнового парка. Из других комбайнов избирательного действия используются комбайны 4ПП-2 при проведении магистральных штреков с большой площадью поперечного сечения при подрыве известняков с коэффициентом крепости до 6 по шкале проф. М. М. Протодяконова и комбайны ГПКС, 4ПУ при проведении выемочных штреков по угольному пласту и породам с коэффициентом крепости до 4.

Другим перспективным способом проведения горизонтальных горных выработок в неустойчивых породах является щитовой, к основным достоинствам которого относятся возможность разработки забоя без возведения временной призабойной крепи, простота и удобство размещения в одном агрегате механизмов и машин для выполнения основных проходческих процессов и операций, высокий уровень механизации и практически полная безопасность работ. Он применяется главным образом при проведении магистральных профилированных штреков с большой площадью поперечного сечения (до 23 м<sup>2</sup> в проходке), срок службы которых определяется временем работы шахты или отработки крыла шахтного поля.

Для этого способа проведения выработок ЦНИИПодзем-машем разработан проходческий щитовой комплекс КЩ-5,2 Б (рис. 2.4).

Для работы в условиях неустойчивых пород щит комплекса оснащен пятью ярусами бесприводных комбинированных площадок и двумя вертикальными перегородками. При необ-

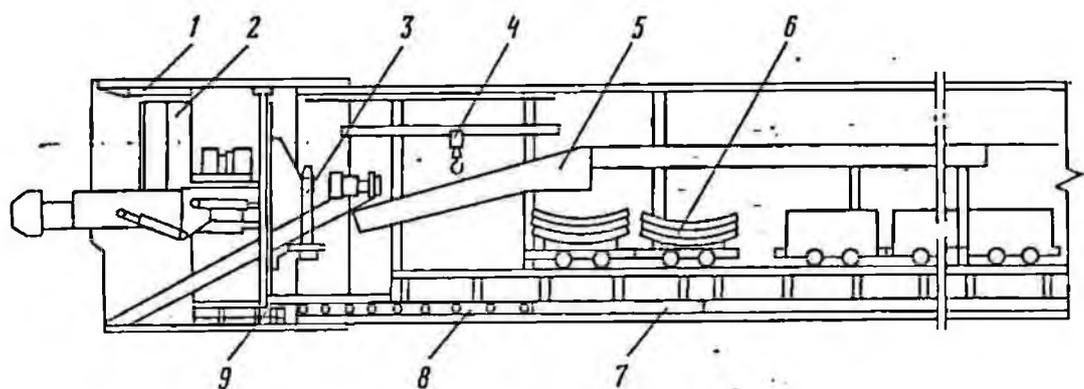


Рис. 2.4. Схема проходческого щитового комплекса КЩ-5,2Б:

1 — головная часть с рабочим и погрузочным органами; 2 — кабина управления; 3 — блокоукладчик; 4 — разгрузчик блоков; 5 — перегружатель; 6 — блоковозка; 7 — технологическая платформа; 8 — ролик; 9 — домкрат передвижки головной части

ходимости комбинированные площадки демонтируются и вместо них устанавливается в горизонтальное положение специальная рабочая площадка, с которой ведут обработку забоя ручным инструментом и устанавливают временную крепь.

Как показал опыт, основными эксплуатационными и конструктивными недостатками щитов являются высокая трудоемкость обслуживания средств удержания неустойчивого забоя, трудность выполнения работ по забойному осушению, недостаточная управляемость по заданному профилю при низкой несущей способности пород почвы, значительные затраты на проведение 1 м выработки. Все это сдерживает применение щитового способа проведения выработок на шахтах бассейна.

Для механизации крепления выработок трапециевидной формы поперечного сечения, доля которых на шахтах бассейна составляет 30—50%, ПНИУИ создана установка возведения крепи УВК-3 (рис. 2.5), работающая в сочетании с комбайнами ПК-3Р и ГПКС [16]. Она состоит из крепеустановщика, конвейера подачи и разгрузчика элементов крепи, механизма передвижения разгрузчика, электро- и гидрооборудования.

Установка УВК-3 выполнена в виде подъемно-поворотной гидравлической колонны и подвижно соединенного с ней горизонтального телескопического домкрата, к концу штока которого шарнирно прикреплен поворотно-наклонный стол для приема элементов крепи с гидравлическим захватом. Колонна опирается на специальный кронштейн на раме комбайна.

Конвейер подачи крепи — скребковый, он состоит из приводной, промежуточной и концевой секций, которые крепятся к раме разгрузчика.

Разгрузчик элементов крепи включает раму, два гидроподъемника, поперечный толкатель, гидрозолотники управления, устройство для передвижки.

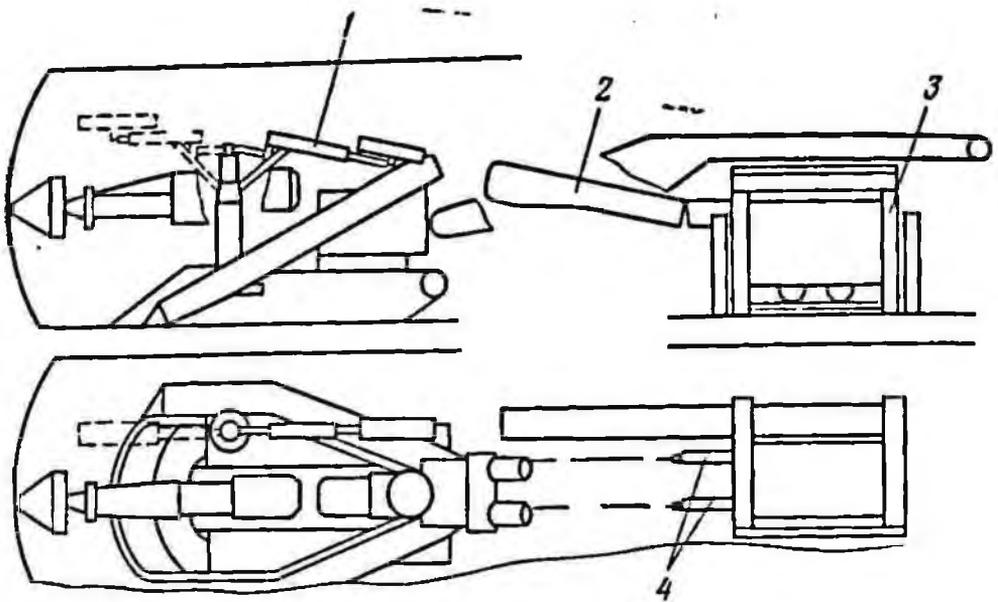


Рис. 2.5. Схема установки возведения крепи УВК-3:

1 — крепеустановщик; 2 — конвейер подачи элементов крепи; 3 — разгрузчик элементов крепи; 4 — механизм передвижения разгрузчика

Электрическое и гидравлическое питание установки осуществляется от магнитной и насосной станций комбайна.

#### Техническая характеристика установки УВК-3

Производительность, рам/ч . . . . .	8
Ход гидродомкратов, мм:	
стрелы . . . . .	600
колонны . . . . .	500
подъемника . . . . .	900
механизма передвижки . . . . .	500
Угол, градус:	
наклона стрелы . . . . .	30
поворота стрелы . . . . .	180
наклона приемного лотка . . . . .	42
поворота приемного лотка . . . . .	360
поворота захвата гидроподъемника . . . . .	180
Грузоподъемность стрелы крепеустановщика, т	0,3
Скорость движения цепи конвейера, м/с . . . . .	0,7
Вместимость разгрузчика крепи, элементов . . . . .	16
Ширина колеи, мм . . . . .	600 и 900
Масса, кг:	
крепеустановщика . . . . .	490
установки в целом . . . . .	2300

Установки УВК-3 работают следующим образом. После выемки угля (породы) на длину заходки комбайном зачищают почву выработки у боков штрека и подготавливают лунки под стойки крепи. Затем с помощью гидроподъемников раз-

грузчика и поперечного толкателя выгружаются и подаются на конвейер элементы крепи, которые затем доставляются на приемный стол крепеустановщика и там фиксируются гидрозахватом.

После этого путем подъема и втягивания телескопической части стрелы и поворота колонны на  $180^\circ$  элементы крепи подаются к месту установки. При повороте приемного стола относительно телескопической части стрелы в плоскости, параллельной плоскости забоя, вправо или влево (в зависимости от места установки) стойки крепи сползают под действием собственного веса по наклонной плоскости. Последующим поворотом колонны они устанавливаются и фиксируются с помощью выдвижных прогонов, стяжек, скоб и т. п. Последним подают верхняк, который поднимают к кровле и удерживают в таком положении до окончания соединения его со стойками, расклинивания, установки затяжки и т. д.

Общая трудоемкость возведения одной рамы крепи с помощью установки УВК-3 составляет в среднем 57,1 чел-мин, что в 1,5 раза ниже трудоемкости установки крепи вручную. Особенно эффективно ее использование при возведении сборной железобетонной трапецевидной крепи. Применение установки УВК-3 позволяет полностью механизировать тяжелые ручные работы по разгрузке и доставке к забою элементов крепи, установке верхняков и частично стоек, а также обеспечить более безопасные условия труда в забое.

Установка УВК-3 изготавливается Тульским заводом им. В. И. Ленина по заказам шахт Подмосквовного бассейна.

Для транспортирования горной массы из забоев проводимых выемочных конвейерных штреков ПНИУИ на базе серийного конвейера 1ЛТ-80у (2ЛТ-80у) создан ленточный телескопический конвейер 1ЛТС (2ЛТС).

Конвейер ЛТС (рис. 2.6) состоит из привода ленточного конвейера, телескопического устройства, линейных, переходной и концевой секций, привода грузовой дороги, буксировочной и грузовой тележек, направляющих рамок для фиксации тягового каната, электрооборудования. Привод ленточного конвейера и роlikоопоры с роliками такие же, что и в конвейере 1ЛТ-80у (2ЛТ-80у).

Привод телескопического устройства выполнен на базе привода ПЧ-2. Телескопическое устройство позволяет увеличивать длину конвейера на 50 м без рассоединения ленты.

Привод грузовой дороги, выполненный на базе серийно выпускаемых лебедок ЛПК-10Б и ЛШГ, снабжен шкивом трения и выносными шкивами для замкнутого тягового каната. Запуск грузовой дороги осуществляется с кнопочного поста, а остановка — с любой точки конвейера.

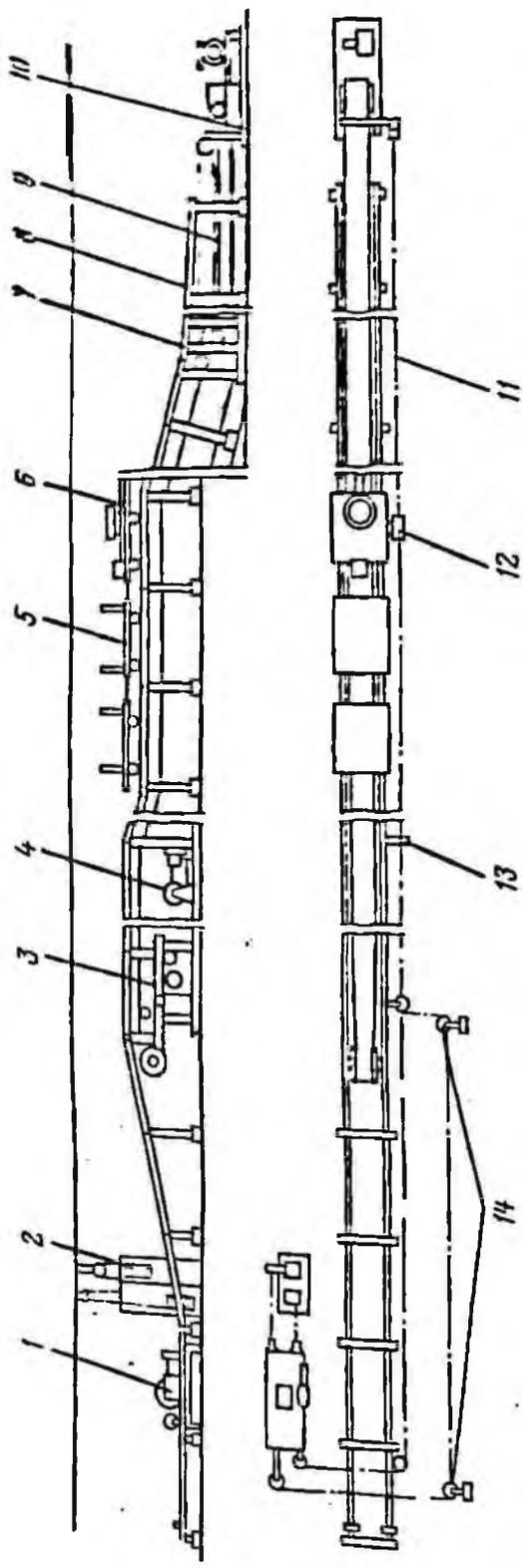


Рис. 2.6. Схема ленточного телескопического конвейера типа ЛТС с грузовой дорогой:

- 1 — привод грузовой дороги; 2 — станция натяжения каната; 3 — привод конвейера; 4 — телескопическое устройство; 5 — грузовая тележка; 6 — приводная тележка; 7 — переходная секция; 8 — линейная секция; 9 — лента конвейера; 10 — концевая секция; 11 — тяговый канат; 12 — копирное устройство; 13 — направляющая рамка; 14 — отводные блоки

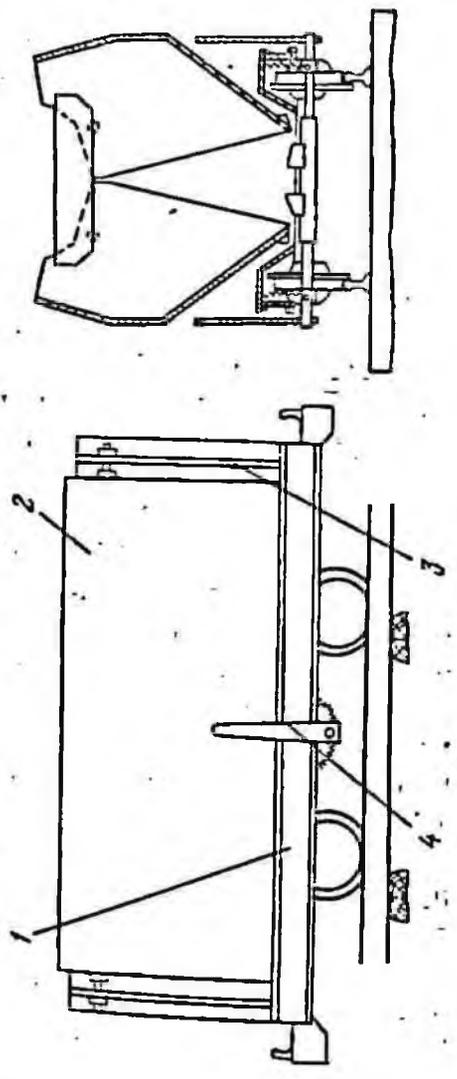


Рис. 2.7. Вагонетка самоочищающаяся шахтная с донной разгрузкой ЗВШ:

- 1 — рама; 2 — кузов; 3 — столка; 4 — запорный механизм

## Техническая характеристика конвейера ЛТС

### Ленточный конвейер:

максимальная производительность, т/ч . . . . .	330
приемная способность, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	6,5
скорость движения ленты, м/с . . . . .	1,6
максимальная длина, м . . . . .	1000
число приводов при максимальной длине . . . . .	2
максимальный угол изгиба в вертикальной плоскости, градус . . . . .	До 15
ширина ленты, мм . . . . .	800
электродвигатель . . . . .	КОФ 41—14
мощность, кВт . . . . .	40—46
телескопичность, м . . . . .	50
мощность электродвигателя телескопического устройства, кВт . . . . .	4
<b>Грузовая дорога:</b>	
тип привода . . . . .	Глобондный или червячный редуктор со шкивом трения
мощность привода, кВт . . . . .	15
диаметр тягового каната, мм . . . . .	11
скорость движения каната, м/с . . . . .	0,7
емкость барабана приводной тележки, м . . . . .	500
грузоподъемность, т . . . . .	1
ширина колеи тележки, мм . . . . .	1000

Производство конвейеров ЛТС организовано на рудоремонтных заводах и в центральных электромеханических мастерских производственных объединений бассейна.

При проведении выемочных штреков с уклоном более 3° используются лебедки с канатом. Наибольшее распространение получили лебедки типа ЛВД с канатоемкостью до 600 м и скоростью движения каната до 0,7 м/с. При челноковой схеме работы одна лебедка устанавливается стационарно на главном штреке, вторая перемещается вслед за проходческим комбайном. Использование лебедок ЛВД позволяет значительно сократить продолжительность транспортных операций. В настоящее время на шахтах бассейна начато применение лебедок типа ЛШВ.

Вагонеточный парк на шахтах бассейна представлен вагонетками ВГ-1,3, ВГ-2,5 и ВГ-3,3.

В последние годы внедряются созданные ПНИУИ и выпускаемые рудоремонтными заводами объединений самоочищающиеся челюстные вагонетки с донной разгрузкой ЗВСШ (рис. 2.7). Разъемный двухстворчатый кузов вагонетки шарнирно подвешен на прикрепленных к раме кронштейнах. Расположение осей подвески створок кузова выбрано таким образом, что под действием собственной массы створки находятся в сомкнутом положении, а под действием находящегося в кузове груза они раскрываются при открытии специальных запор-

ных устройств. При разгрузке вагонеток происходит одновременная очистка внутренней поверхности кузова частицами транспортируемого материала благодаря геометрической форме боковых стенок створок.

#### Техническая характеристика вагонетки ЗВСШ

Вместимость, м <sup>3</sup> . . . . .	2,5
Ширина колеи, мм . . . . .	900
Жесткая база, мм . . . . .	1100
Габариты, мм:	
длина . . . . .	2800
ширина . . . . .	1400
высота . . . . .	1300
Масса, кг . . . . .	1403

Применение самоочищающейся вагонетки ЗВСШ позволяет полностью ликвидировать ручной труд по очистке кузова и на 20—30% повысить производительность транспорта за счет сокращения продолжительности маневровых операций.

ПНИУИ разработана конструкция механизированного привода стрелочного перевода 1МПСП (рис. 2.8).

#### Техническая характеристика привода 1МПСП

Ход штока, мм . . . . .	130±5
Усилие на штоке (регулируемое), кН . . . . .	1—2
Усилие воздействия на педаль, кН . . . . .	0,2—0,55
Габариты, мм . . . . .	740×590×370
Масса, кг . . . . .	53

Основными преимуществами привода 1МПСП по сравнению с ранее применявшимися приводами с балансирным механизмом являются более высокая производительность транспорта за счет безостановочного движения электровозов при выходе из выемочного штрека на магистральный, меньшая трудоемкость обслуживания, большая безопасность движения состава по стрелочному переводу.

Для механизации работ по подземному осушению созданы и используются на шахтах различного оборудование и механизмы, выпускаемые рудоремонтными заводами и центральными электромеханическими мастерскими объединений в необходимом для нужд бассейна количестве.

Вместо ранее применявшихся для бурения восстающих, наклонных и горизонтальных дренажных скважин, а также скважин другого назначения станков типа ДС разработаны и широко применяются на шахтах бассейна более совершенные и производительные станки БС-50 конструкции ГПКТИПТМ и завода им. В. И. Ленина ПО «Тулауголь» и СБД-2М конструкции ПНИУИ.

Буровой станок БС-50 состоит из рамы, вращателя, ручного механизма подачи, промывочного насоса, направляющего фо-

Рис. 2.8. Схема механизированного привода стрелочных переводов 1МПСР:

1 — корпус; 2 — рычаг; 3 — педаль; 4 — двуплечный рычаг; 5 — тяга; 6 — пружина; 7 — шток; 8 — крышка

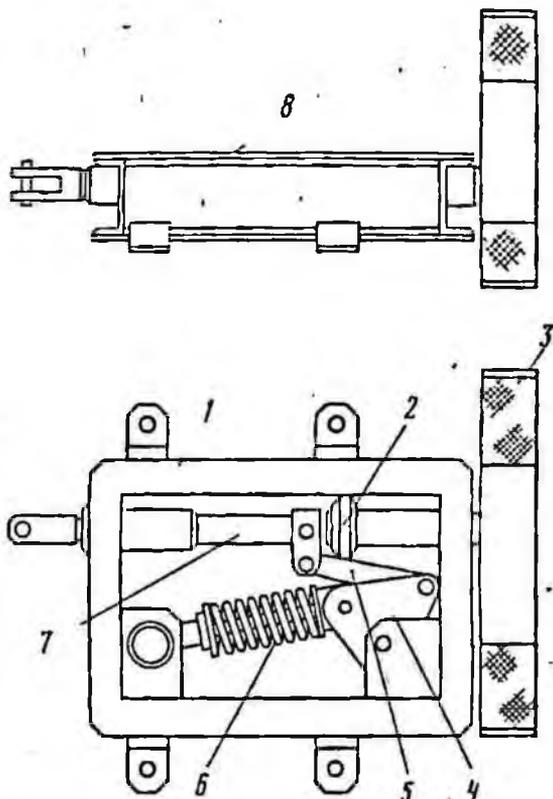
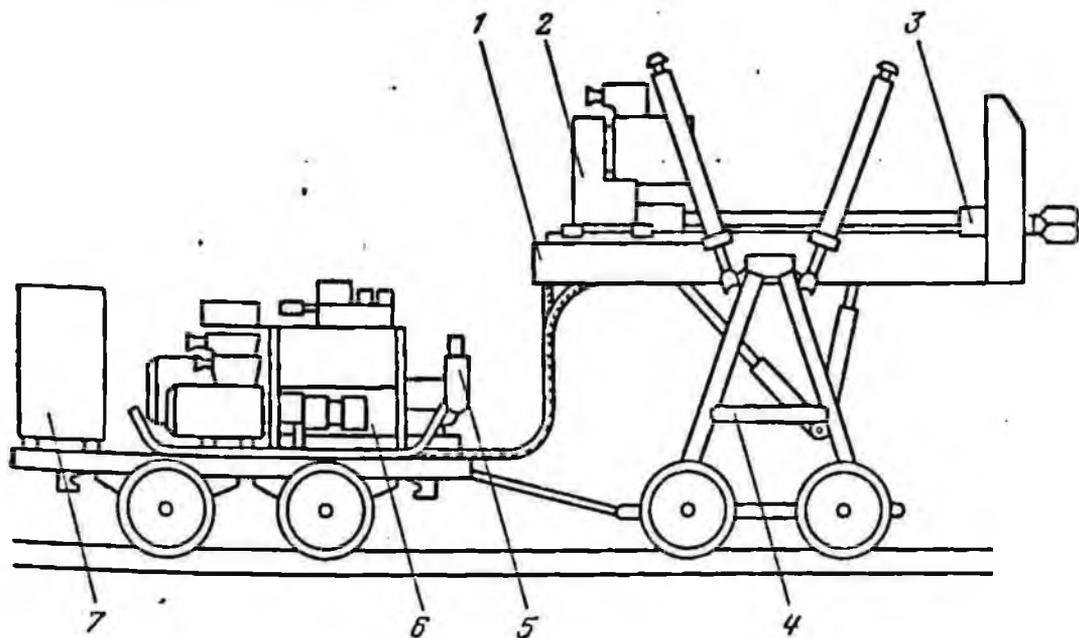


Рис. 2.9. Схема бурового дренажного станка СБД-2М



паря, бурового инструмента и обсадных труб. Главное достоинство станка — простота обслуживания, небольшие габариты и масса, что делает его мобильным. Основные недостатки — малая длина буримых наклонно-направленных скважин (до 50 м) и высокий уровень ручного труда при обслуживании (40—50%).

Буровой станок СБД-2М (рис. 2.9) состоит из рамы 1 с гидравлическим механизмом подачи бурового инструмента, гидрозахвата буровых штанг 3, привода вращателя 2, опоры 4 с колесами для перемещения по рельсовому пути, маслостанции 6 с кнопочным пультом управления, винтового промывочного насоса 5 и магнитной станции 7. Станок поставляется с комплектом буровых штанг, набором инструмента и обсадных труб.

#### Техническая характеристика станка СБД-2М

Длина буримых скважин, м . . . . .	120
Техническая скорость бурения, м/ч . . . . .	15
Диаметр скважин, мм . . . . .	76; 108; 135; 151
Диаметр обсадных труб, мм . . . . .	89; 108; 127
Угол заложения скважин к горизонту, градус . . . . .	0—360
Полезная длина буровой штанги, мм . . . . .	1000
Диаметр буровой штанги, мм . . . . .	57
Номинальная мощность двигателя вращателя, кВт . . . . .	4
Общая установленная мощность, кВт . . . . .	8,5
Рабочее напряжение, В . . . . .	380/660
Частота вращения шпинделя, с <sup>-1</sup> . . . . .	1; 1,6; 2,7
Максимальная скорость подачи, м/мин . . . . .	8
Подача промывочного насоса, л/с . . . . .	1,4
Давление промывки, МПа . . . . .	0,5
Габариты, мм:	
длина . . . . .	2130
ширина . . . . .	550
высота . . . . .	700
Масса, кг:	
буровой части . . . . .	325
основания . . . . .	215
вспомогательного оборудования . . . . .	360

Основными отличиями станка СБД-2М от буровых станков такого же класса являются блочность узлов, их транспортабельность, механизация операций по свинчиванию и развинчиванию буровых штанг, одновременная с бурением обсадка скважины трубами.

Среднесменная производительность станка СБД-2М составляет 16 м, что в 2—3 раза больше производительности станка БС-50.

Станки БС-50 и СБД-2М серийно изготавливаются заводом им. В. И. Ленина ПО «Тулауголь».

Одной из разновидностей подземного осушения является забойное водопонижение способом вакуумирования, которое в практике проведения горных выработок применяется сравнительно недавно. Наиболее эффективно оно используется в обводненных и слабоустойчивых породах (особенно пльвунах) с низкими коэффициентами фильтрации (менее 1 м/сут). При забойном водопонижении в заранее пробуренные или подготовленные способом гидроразмыва скважины и шпурсы погружаю-

на различную глубину иглофильтры. Посредством рукавов иглофильтры подключаются к водосборному коллектору, в котором специальной насосной установкой поддерживается достаточно глубокий вакуум. Создаваемый перепад давлений в осушаемом массиве и коллекторе позволяет в значительной степени интенсифицировать процесс водоотдачи и увеличить дебит скважин в 3—8 раз.

На шахтах Подмосквовного бассейна широкое применение находят установки вакуумного водопонижения УЗВ-5 (УЗВ-5М), УЗВП-IVХЛ5 конструкции ВНИИОМШС и комплект средств вакуумирования КСВ конструкции ПНИУИ.

Установка типа УЗВ включает насосный агрегат с центробежным и водоструйным насосами, закрытый циркуляционный бак, соединительные трубопроводы и арматуру, которые смонтированы на одной раме с колесно-рельсовым ходом. Призобойную часть установки составляют сборный коллектор, иглофильтры и соединительные рукава.

Для погружения иглофильтров в породу установка УЗВП-IVХЛ5 оснащена специальным забивным устройством, состоящим из А-образной рамы, направляющего прижима, пневмопробойника ИП4605 и лебедки. Техническая характеристика установок типа УЗВ и ее модификаций, а также подробное описание конструкции приведены в работе [3].

Комплект средств вакуумирования КСВ (рис. 2.10) в отличие от установок типа УЗВ имеет меньшие габариты и может располагаться в выработках с небольшой площадью поперечного сечения (до 6 м<sup>2</sup> в свету) без подготовки специальной камеры. Его небольшая масса обеспечивает меньшую трудоемкость монтажно-демонтажных работ.

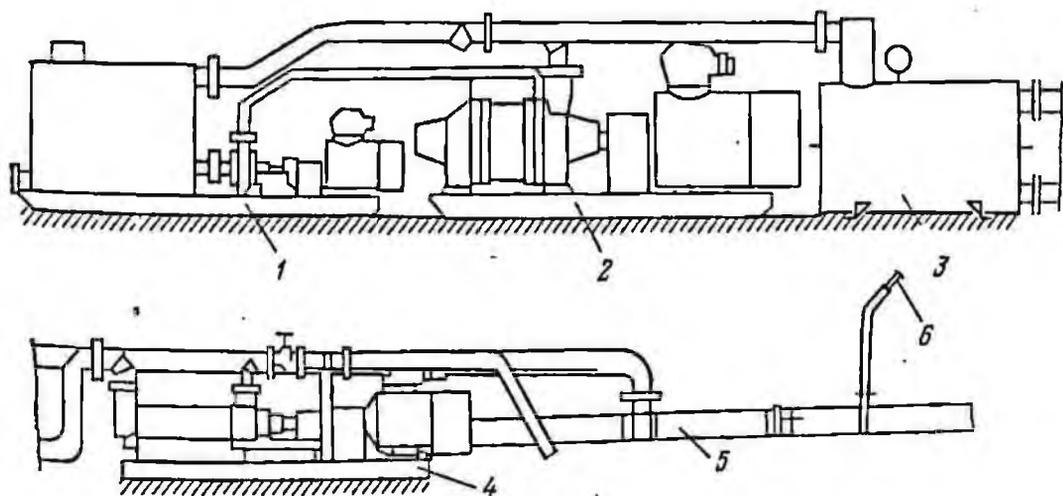


Рис. 2.10. Комплект средств вакуумирования КСВ:

1, 2, 4 — блоки соответственно подпиточного, вакуумного и винтового насосов; 3 — водовоздухоразделитель; 5 — коллектор; 6 — иглофильтр

Основные составные части комплекта: блок подпиточного насоса; блок вакуумного насоса; водовоздухоотделитель; блок винтового насоса; быстроразъемный коллектор из полиэтиленовых труб; нглофильтры. Комплект КСВ может работать по двум схемам: с применением блока винтового насоса или блока вакуумного насоса. Выбор той или иной схемы зависит от конкретных гидрогеологических условий.

#### Техническая характеристика комплекта КСВ

Винтовой насос:	
тип . . . . .	1В20/10
подача, м <sup>3</sup> /ч . . . . .	40
напор, м . . . . .	50
Вакуумный насос:	
тип . . . . .	ВВН-1-3
максимальное разрежение, МПа . . . . .	0,08
Привод вакуумного насоса:	
тип электродвигателя . . . . .	ВАО-62-4
мощность, кВт . . . . .	12
частота вращения, с <sup>-1</sup> . . . . .	25
Максимальное число фильтров . . . . .	25
Максимальная глубина погружения фильтров, м . . . . .	8
Максимальная длина коллектора, м . . . . .	100
Габариты приводной станции, мм:	
длина . . . . .	2000
ширина . . . . .	400
Масса блока вакуумного насоса, кг . . . . .	250

Серийное производство комплектов 1КСВ освоено заводом им. В. И. Ленина ПО «Тулауголь». Их применение на ряде шахт Подмоскoвного и Днепровского бассейнов позволило в 3—5 раз сократить сроки осушения и на 30—50% увеличить

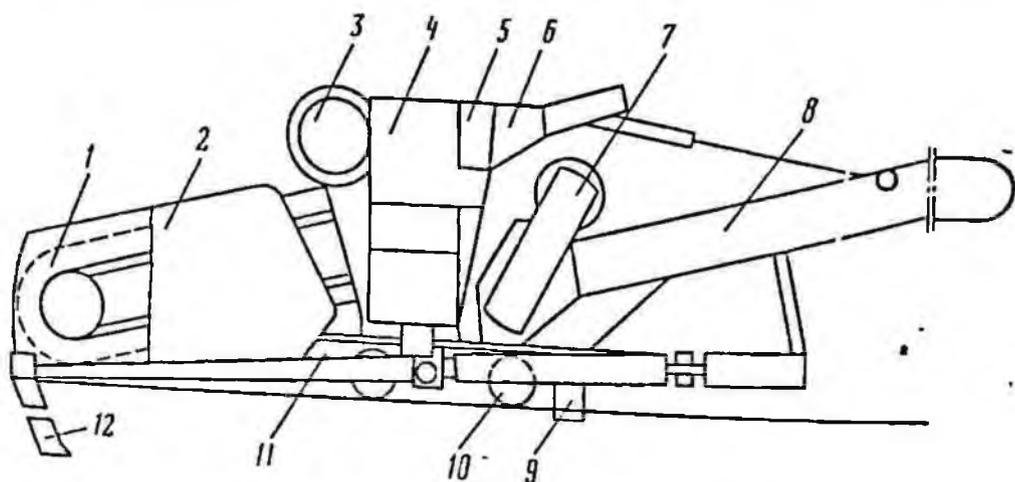


Рис. 2.11. Схема дренажной машины ДМ-2:  
 1 — рабочий орган; 2 — защитный кожух; 3 — привод рабочего органа и маслостанции;  
 4 — магнитная станция; 5 — пульт управления; 6 — маслостанция; 7 — привод перегружа-  
 теля; 8 — перегружатель; 9 — рельсовый захват; 10 — колесо; 11 — рама; 12 — зачистной  
 лемех

скорость проведения выработок в сложных гидрогеологических условиях.

Для устройства дренажных канав в подготовительных выработках созданы различные средства механизации.

Дренажная машина ДМ-2 (рис. 2.11) предназначена для устройства дренажных канав между рельсами в выработках, закрепленных незамкнутой (без лежня) крепью.

Машина состоит из рабочего органа барового типа с электроприводом, перегружателя, ходовой части с механизмом передвижения, гидрооборудования, электрооборудования. Она обеспечивает отбойку и погрузку горной массы в средства шахтного транспорта.

#### Техническая характеристика дренажной машины ДМ-2

Производительность, м/смену . . . . .	15—20
Размеры дренажной канавы, мм:	
ширина . . . . .	450—480
глубина . . . . .	1500
Рабочая скорость подачи, м/мин . . . . .	0—1,25
Установленная мощность электродвигателя, кВт . . . . .	27
Давление масла в гидросистеме, МПа . . . . .	10
Габариты в рабочем положении, мм:	
высота . . . . .	1500
длина . . . . .	8100
ширина . . . . .	1340
Масса, кг . . . . .	4600

Машина ДМ-2 изготавливается Донским механическим заводом ПО «Новомосковскуголь» по заказам шахт Подмосквовного бассейна.

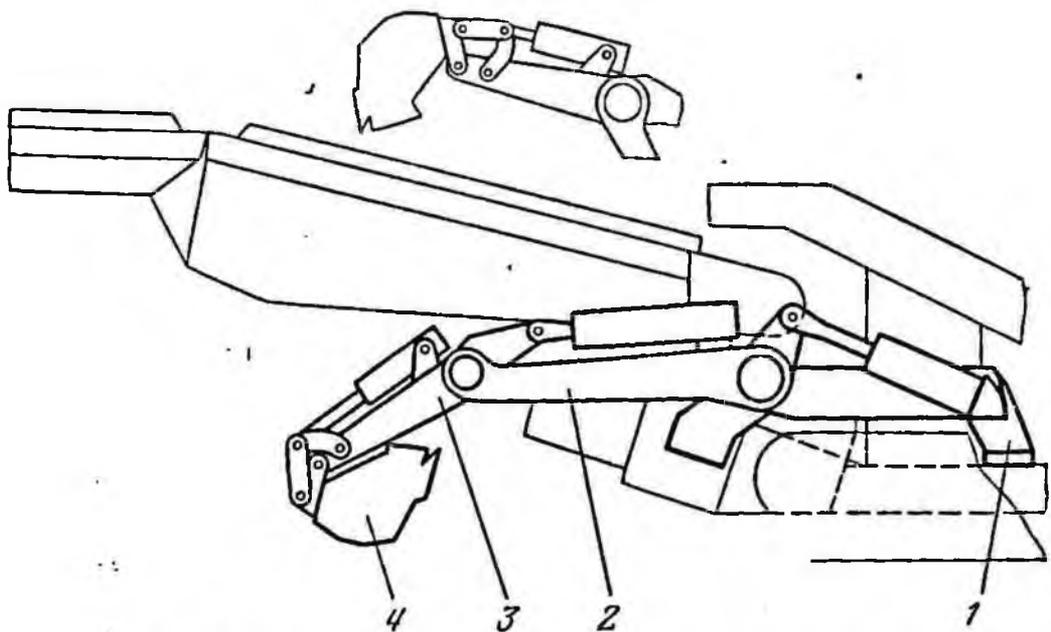


Рис. 2.12. Схема устройства проходки дренажных канав УПД

Устройство для проходки дренажных канав УПД (рис. 2.12) конструкции ПНИУИ устанавливается на комбайне ПК-3Р (без существенных изменений его конструкции), что позволяет проводить одновременно выработку и дренажную канаву [39].

#### Техническая характеристика устройства УПД

Производительность, м <sup>3</sup> /ч . . . . .	4
Вместимость ковша, м <sup>3</sup> . . . . .	0,065
Усилие на кромке ковша, кН . . . . .	20
Размеры проводимой дренажной канавы, м:	
ширина . . . . .	0,45
глубина . . . . .	1,3
Минимальная площадь поперечного сечения выработки в свету (при высоте не менее 2,4 м), м <sup>2</sup> . . . . .	6,3
Габариты в рабочем положении, мм:	
ширина . . . . .	1200
длина . . . . .	3300
Масса, кг . . . . .	1200

Устройство УПД состоит из опоры 1, рукоятки 2, стрелы 3, ковша 4 и механизма горизонтальной выдвижки. Перемещение ковша, стрелы, рукоятки и механизма горизонтальной выдвижки осуществляется гидродомкратами, для питания которых используется маслостанция проходческого комбайна.

Устройство управляется с переносного кнопочного пульта (при помощи электрогидроклапанного блока, который питается от магнитной станции комбайна) или со стационарного пульта, выполненного в виде блока серийных гидрораспределителей. Перемещениями штоков гидродомкратов рукоятки, стрелы и ковша осуществляются отбойка и заполнение ковша горной массой в дренажной канаве. Затем заполненный ковш выводится из канавы выше почвы выработки, отводится механизмом горизонтальной выдвижки в сторону из-под перегружателя, поднимается над верхней его кромкой, вновь смещается к перегружателю, располагаясь над верхней его ветвью. После этого поворотом ковша горная масса выгружается на движущуюся ленту перегружателя комбайна.

Устройство УПД позволяет проводить дренажную канаву не только по середине, но и у правого бока выработки по направлению движения комбайна.

Как показывает опыт, его применение в 2—3 раза уменьшает трудоемкость устройства дренажных канав, повышает темпы проведения выработки и снижает уровень ручного труда на 35—40%.

Заказы шахт бассейна по изготовлению устройства УПД выполняет завод им. В. И. Ленина ПО «Тулауголь».

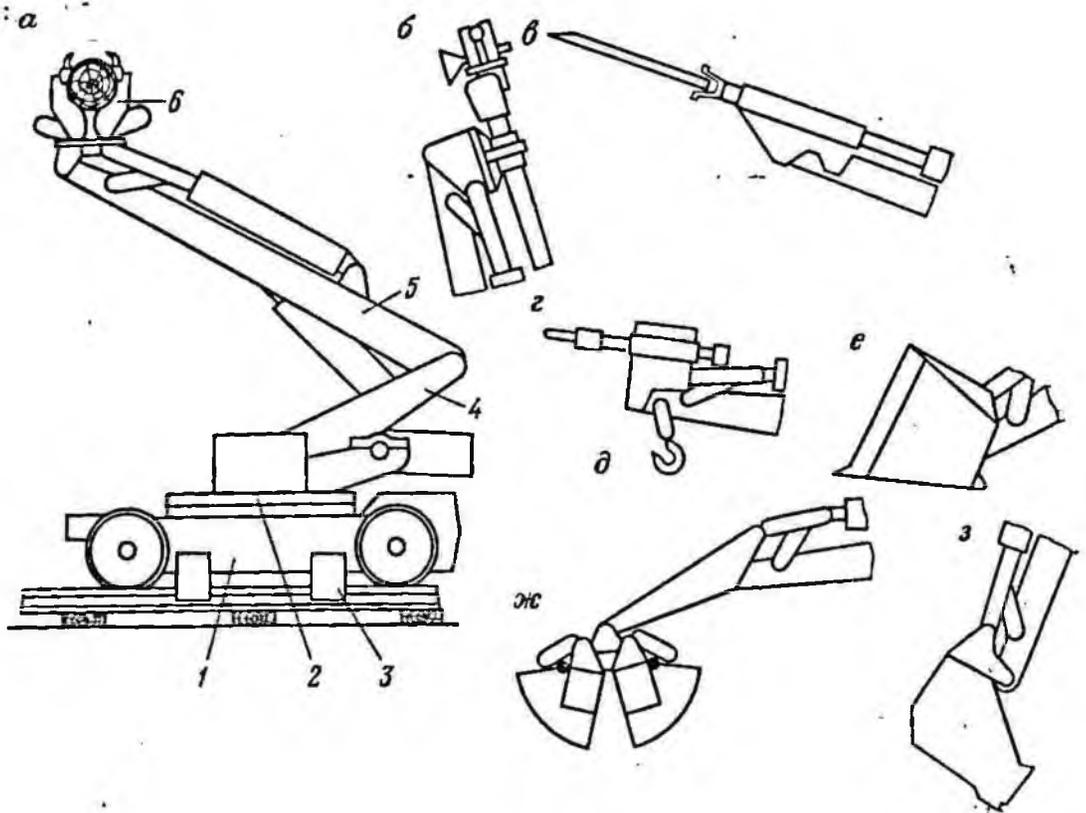


Рис. 2.13. Схема универсальной многооперационной машины «Штрек» с клещевым захватом (а) и комплект других сменных навесных инструментов (б—з):

б — захват для установки тубингов; в — устройство для задавливания «посада»; г — гидроударник; д — крюковая подвеска; е — ковш для подрывки почвы; ж — грейфер; з — экскаваторный ковш; 1 — ходовая часть; 2 — полноповоротная платформа; 3 — гидрозахват; 4 — рукоять; 5 — стрела; 6 — клещевой захват

Для механизации вспомогательных и ремонтных работ при проведении выработок служит разработанная ПНИУИ универсальная многооперационная машина «Штрек» (шахтный манипулятор МШ).

Машина (рис. 2.13) состоит из манипулятора, представляющего собой установленную на полноповоротной платформе 2 подъемно-поворотную складывающуюся телескопическую стрелу 5, рукояти 4, ходовой части 1 с рельсово-колесным или гусеничным механизмом передвижения, приводом передвижения и стопорения за рельсы (гидрозахват 3), электро- и гидрооборудования, системы управления. В состав машины входит комплект сменного навесного инструмента б, устанавливаемого на стрелу (погрузочный, экскаваторный и универсальный ковши, ковш для подрывки почвы, грейфер, клещевой захват, устройство для задавливания «посада», крюковая подвеска, гидроударник, гидровыдергиватель, отбойная коронка). Удачное кон-

Показатели	М		
	МШ	1МШ	1МШМ*
Грузоподъемность, т	3,2	3,2	3,2
Усилие клещевого захвата, кН	16	16	16
Усилие на зубьях ковша, кН	16—30	16—30	35—75
Максимальная высота подъема стрелы, м	3	3	3,5
Максимальное заглубление экскаваторного ковша, м	1,2	1,2	1,2
Скорость автономного передвижения, м/с, при механизме передвижения:			
колесно-рельсовом	0,8	0,8	0,8
гусеничном	—	—	—
Ширина колен, мм	900	900	900
Минимальная площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	5,5	6	6
Привод			
тип электродвигателя	ВАО-52-4	ВАО-52-4	ВАО-61-4
мощность, кВт	10	10	10
тип гидронасоса	НШ32У	НШ32У	НШ32У
Габариты, м:			
высота	1,2	1,2	1,2
ширина	1,2	1,2	1,28
длина	2,1	2,1	2,1
Масса, т	2,65	2,65	2,65
Масса комплекта оборудования, т	3,3	3,3	3,3

\* В модели 1МШМ при пневмогидравлическом приводе используется пневмодвига

структивное решение, а также наличие сменного навесного инструмента позволяют использовать машину для выполнения примерно 20 вспомогательных видов работ при проведении и ремонте подготовительных выработок с различной формой поперечного сечения площадью 6—20 м<sup>2</sup>.

Машина имеет несколько модификаций, что позволяет использовать ее при проведении и ремонте подготовительных выработок в различных горно-геологических и горнотехнических условиях. Техническая характеристика ее различных модификаций приведена в табл. 2.1.

Для использования в условиях негазовых и газовых шахт машина имеет два варианта исполнения привода: электрогидравлический и пневмогидравлический.

Система управления также имеет два варианта: с использованием электрогидравлических клапанов типа ЭГПТ и пневматик. Управление машиной осуществляется дистанционно с пультов.

дификация

2МШ	3МШ	4МШ	МШЭ	5МШ	5МШГ
3,2	3,2	3,2	3,2	5—7,1	3,2—5
16	16	16	16	32	32
35—75	35—75	16—30	35—75	30—60	50
3,9	2,5	3	3,9	4,6	4,6
1,5	0,9	1,2	1,5	2	2
0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
—	0,16	—	—	—	0,35
600	600	900	600	900	—
900					
7,1	5,5	6	6	8	8
ВАО-52-4	ВАО-52-4	ВАО-52-4	АЕ (ФРГ)	ВАО-71-4	ВАО-71-4
13	10	10	15	22	22
НШ32У	НШ32У	НШ32У	«Бош»	Н403Е	2×НШ32У
1,35	1,2	1,2	1,2	1,4	1,35
1,24	1,02	1,2	1,28	1,2	1,3
2,35	1,92	2,1	1,92	2,7	2,7
3,3	2,15	3,3	2,15	5	6,2
3,3	3,3	3,3	3,6	5	6,2

тель К18Ф-25 мощностью 18,5 кВт на давление 0,3—0,6 МПа.

С помощью машины «Штрек» выполняются следующие работы: подрывка почвы; погрузка горной массы; выгрузка сыпучих материалов, жидкого бетона, шлама из шахтных откаточных сосудов; возведение рамной сборной и тубинговой крепи; извлечение элементов деформированной крепи; ремонт рельсовых путей; восстановление горных выработок, включая проведение их по завалу; устройство уширений и камер в штреках; монтаж-демонтаж горного оборудования и трубопроводов; устройство и чистка дренажных канав, колодцев, котлованов под толкатели и др.

Характеристика применяемого при этом сменного рабочего инструмента приведена ниже.

Опытно-промышленная проверка машины «Штрек» на шахтах Донецкого, Кузнецкого, Карагандинского и Подмосквового угольных бассейнов показала, что ее использование увеличивает производительность труда при выполнении вспомогательных работ различных видов в 2—3 раза.

## Техническая характеристика сменного рабочего инструмента машины «Штрек»

			габариты, мм	1030×1800×296
Экскаваторный ковш:			масса, кг . . .	194
вместимость, м <sup>3</sup>	0,1		Тюбинговая головка:	
габариты, мм	650×300×720		габариты, мм	1628×450×530
масса, кг . . .	86		масса, кг . . .	230
Погрузочный ковш:			Гидроударник:	
вместимость, м <sup>3</sup>	0,2		энергия удара, Дж . . . . .	600
габариты, мм	635×760×680		частота ударов, мин <sup>-1</sup> . . . . .	4,3
масса, кг . . .	104		амплитуда, мм	58
Поддвирочный ковш:			Бутбой БП-1:	
вместимость, м <sup>3</sup>	0,15		энергия удара, Дж . . . . .	500
габариты, мм	1025×720×585		частота ударов, мин <sup>-1</sup> . . . . .	160
масса, кг . . .	250		давление воздуха, МПа . . . . .	0,5
Универсальный ковш:			производительность, м <sup>3</sup> /ч . . . . .	5
вместимость, м <sup>3</sup>	0,15		Поворотный стол:	
габариты, мм	1137×540×254		угол поворота, градус . . . . .	360
масса, кг . . .	254		габариты, мм	430×480×340
Грейфер:			масса, кг . . .	50
вместимость, м <sup>3</sup>	0,25		Гидрозахват:	
габариты, мм	690×752×592		усилие захвата, кН . . . . .	15—30
масса, кг . . .	155		габариты, мм	400×480×600
Гидрозахват:			масса, кг . . .	71
усилие захвата, кН . . . . .	15—30		Гидрозахжим:	
габариты, мм	400×480×600		усилие зажатия, кН . . . . .	360
масса, кг . . .	71		габариты, мм	514×160×355
Крюковая подвеска:			масса, кг . . .	73
грузоподъемность т . . . . .	3,2—7		Гидродержатель:	
габариты, мм	162×147×360		усилие выдерживания, кН . . . . .	30—50
масса, кг . . .	12		габариты, мм	606×232×590
Посадное устройство:			масса, кг . . .	85
усилие задавливания, кН . . .	83—126		Тягальное устройство:	
			усилие, кН . . .	80
			длина цепи, м . .	10

Машина «Штрек» изготавливается по заказам предприятий угольной промышленности и других отраслей народного хозяйства Северо-Задонским экспериментальным заводом ПНИУИ.

### 2.3. Технологические схемы проведения выработок

Технологическая схема проведения подготовительных выработок представляет собой схему расстановки оборудования и людей в соответствии с planoграммой работ, которая определяет последовательность и продолжительность выполнения основных и вспомогательных процессов и операций и обеспечивает достижение заданных технико-экономических показателей.

В зависимости от увязки основных и вспомогательных процессов и операций во времени различают цикличную (без совмещения), циклично-поточную (с частичным совмещением) и поточную (с полным совмещением) технологические схемы.

Технологические схемы проведения выработок отличаются большим разнообразием, а получаемые при их применении технико-экономические показатели колеблются в довольно широких пределах. Поэтому выбор технологической схемы и оборудования для ее реализации представляет собой весьма сложную задачу. Чтобы облегчить ее решение, разработаны типовые технологические схемы и методики расчета их параметров. Однако использование этих схем возможно, как правило, с определенными изменениями и уточнениями применительно к каждому конкретному случаю.

Выбор технологической схемы и оборудования для проведения выработки производится не только выявлением соответствия их технических возможностей горно-геологическим условиям, но и условию максимального удовлетворения потребностей производства, путем сравнения технико-экономических показателей, которые могут быть достигнуты при реализации всех возможных их вариантов.

Критериями выбора технологических схем являются скорость проведения выработки, производительность труда проходчиков и приведенные затраты. Последний показатель считается основным, поскольку он является функцией не только производственно-технических и организационных факторов, но и горно-геологических условий, в которых проводятся выработки.

**Выбор технологии и параметров технологических схем.** Определяющее значение при выборе способов и средств выполнения основных процессов проходческого цикла имеют горно-геологические условия (рис. 2.14), а также технические возможности используемого оборудования [17]. Так, крепость вмещающих пород и угля является одним из основных горно-геологических факторов, от которых зависит выбор способа и средств разрушения забоя. При коэффициенте крепости  $f$  до 1 разработки пород ведут отбойными молотками, рабочими органами проходческих комбайнов или щитов, при  $f=1-4$  — рабочими органами комбайнов легкого типа (ПК-3Р, ГПКС, 4ПУ) или щитов, при  $f=4-6$  — рабочими органами комбайнов тяжелого типа (4ПП-2, 4ПП-5) или щитов, оснащенных специальными разрушающими инструментами, при  $f>6$  — с помощью буровзрывных работ.

В свою очередь, способ и средства разрушения забоя определяют способ и средства погрузки отбитой горной массы. При применении проходческих комбайнов или щитов погрузка осуществляется механизированным способом, при использовании отбойных молотков или буровзрывных работ — с помощью

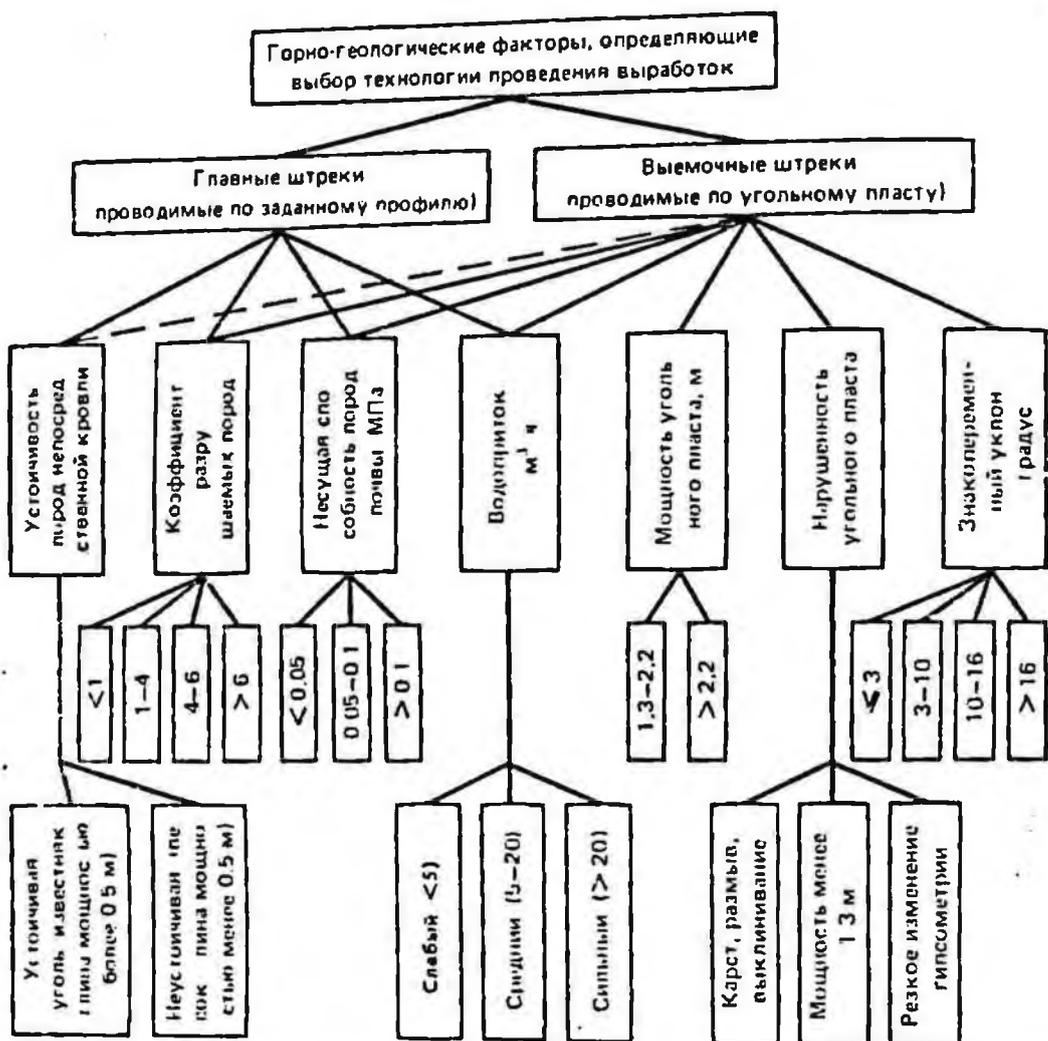


Рис. 2.14. Влияние горно-геологических факторов на выбор способов и средств проведения подготовительных выработок на шахтах Подмосквовного бассейна

погрузочных машин или вручную. При выборе способа и средств погрузки следует учитывать абразивные свойства пород и склонности их к налипанию.

Большое влияние на выбор способа и средств разрушения пород, схемы обработки забоя, а также способа крепления оказывает устойчивость пород, в первую очередь пород непосредственной кровли. На рис. 2.15 приведены возможные способы и последовательность проведения выработок, а также схемы обработки забоя при применении каждого из них [4].

При устойчивых породах выработки проводятся, как правило, сплошным забоем, когда на принятую длину заходки породы в забое разрушаются одновременно по всей площади поперечного сечения (однофазный способ).

При неустойчивых породах, не допускающих большой площади их обнажения на продолжительное время, проведение вы-

Способ проведения выработки		Схема и последовательность обработки забоя	
Однофазный	сплошным забоем с одновременной обработкой всей площади поперечного сечения		
	сплошным забоем с обработкой площади поперечного сечения по частям		
	ступенчатым забоем		
Двухфазный	уступным забоем с оставлением уступа в нижней части поперечного сечения		
	уступным забоем с оставлением уступа в верхней части поперечного сечения		
	уступным забоем с оставлением уступа в правой (левой) части поперечного сечения		
	с направляющим (опережающим) штреком		
Трехфазный	с направляющим (опережающим) штреком при наличии обратного свода		

Рис. 2.15. Способы проведения выработок:

1—6 — последовательность работ

работки сплошным забоем возможно в сочетании с различными способами удержания неустойчивых пород. Забой на принятую длину заходки отрабатывается отдельными участками с последующим их креплением. Число и последовательность отработки отдельных участков могут быть различными.

Другой способ проведения выработок в неустойчивых породах — ступенчатый забой, который предусматривает разделение площади поперечного сечения проводимой выработки на отдельные части и их отработку в определенной последовательности. При этом способе в первую очередь разрушаются породы по контуру сечения выработки. Центральная часть поперечного сечения выработки, называемая опорным уступом, отрабатывается в последнюю очередь с отставанием от основного забоя на длину нескольких заходов. Работы по проведению выработки указанным способом сосредоточены на небольшом участке (обычно не более нескольких метров) и выполняются по одной планограмме.

В устойчивых породах, когда технические возможности применяемого оборудования не позволяют обеспечить разрушение пород по всей площади поперечного сечения выработки, проведение ее может осуществляться уступным забоем. Основная особенность этого способа — разделение поперечного сечения выработки на отдельные части (уступы), в каждой из которых работы ведутся обособленно. После окончания работ в одном уступе на всю проектную длину проводимой выработки или отдельного ее участка начинаются работы в другом, в связи с чем в практике подобный способ получил название двухфазного. Отработка забоя в каждом уступе производится так же, как в случае проведения выработки сплошным забоем на полное сечение. В зависимости от расположения уступа различают проведение с нижним, верхним и боковым уступами. Недостаток способа — необходимость ведения самостоятельных проходческих работ в каждом уступе, что сопряжено с определенными организационными сложностями и снижением скорости проведения выработки.

В сложных горно-геологических условиях, особенно при наличии обводненных песчаных пород, выработки могут проводиться с направляющим (опережающим) штреком при последующем расширении его сечения до проектных размеров. Направляющий штрек площадью поперечного сечения 6—9 м<sup>2</sup> в свету проводится на всю длину выработки или отдельного ее участка. При этом удается получить достоверные данные о свойствах и состоянии пород, их структуре, значении горного давления, а главное — обеспечить осушение обводненных пород до подхода основного забоя. Подобное проведение выработок также относят к двухфазному способу, поскольку оно ведется последовательно при различной организации работ. В зависимости от места заложения направляющего штрека в поперечном сечении основной выработки различают центральное, верхнее и нижнее его расположение. Последний находит более широкое применение, так как значительно упрощает технологию работ.

При всех рассмотренных способах проведения выработок (кроме щитового) нерешенным остается вопрос устройства обратного свода, выполняемого из-за отсутствия средств механизации вручную. Существующие технологические схемы предусматривают выполнение этого вида работ независимо от остальных проходческих процессов на некотором удалении от основного забоя, т. е. появляется третья фаза проходческих работ, во время которой работы по проведению выработки, как правило, прекращаются (трехфазный способ).

Несущая способность пород почвы является одним из факторов, определяющих выбор основного проходческого оборудования и вида крепи. При несущей способности пород почвы более 0,1 МПа используют проходческие комбайны тяжелого и легкого типов, погрузочные машины с колесно-рельсовым и гусеничным механизмом передвижения, 0,05—0,1 МПа — проходческие комбайны легкого типа и погрузочные машины, менее 0,05 МПа — погрузочные машины с колесно-рельсовым механизмом передвижения.

Низкая несущая способность пород почвы исключает возможность применения средств транспорта, перемещающихся на почве проводимой выработки. В этом случае используют, как правило, крепи замкнутого контура с установкой нижнего элемента (поперечного или продольного лежня).

При наличии воды в выработке несущая способность пород почвы снижается. Для применения проходческих комбайнов в таких условиях необходимо осушить почву, подготовить настилы, выполнить ряд других работ, что отрицательно сказывается на технико-экономических показателях проведения выработок.

Обводненность забоя и выработки осложняет выполнение всех проходческих процессов и предъявляет повышенные требования к применяемому оборудованию. Весьма тяжелые условия создаются при проведении наклонных в направлении сверху вниз участков выработки, характеризующихся средней и сильной степенью обводненности, особенно при подрывке глинистых пород, склонных к размоканию и налипанию. Проведение выработок в таких условиях возможно только с выполнением работ по подземному осушению и водоотливу с использованием насосов, дренажных машин, буровых станков, вакуумных установок и других средств.

Выбор способов и средств осушения зависит от конкретной гидрогеологической обстановки, сложившейся к началу проведения выработки. Значительную роль при этом играют остаточные после проведения предварительного осушения с поверхности напоры воды, наличие или отсутствие водоупорных слоев, места расположения осушаемого водоносного горизонта относительно проводимой выработки, фильтрационные свойства

ва обводненных пород. При коэффициенте фильтрации обводненных пород более 1 м/сут осушение пород кровли ведется способами самоизлива и самовакуумирования вертикально-восстающими и наклонными скважинами и забивными фильтрами, а почвы — способом принудительного вакуумирования вертикально-нисходящими и наклонными скважинами и фильтрами с применением автономных эжекторов и установок типа УЗВ, КСВ. При коэффициенте фильтрации пород 0,01—1 м/сут используется способ принудительного вакуумирования восстающих, наклонных и нисходящих скважин и фильтров с применением установок типа УЗВ, КСВ.

При коэффициенте фильтрации менее 0,01 м/сут осушение обводненных пород весьма затруднено, в связи с чем выработки проводятся специальными способами.

При притоке воды в забой до 20 м<sup>3</sup>/ч для ее откачки рекомендуется применять насосы НШЛ, ВНМ, 1В20/10, более 20 м<sup>3</sup>/ч — насосы К-60.

Выбор технологических схем и средств устройства дренажных канав, сооружения водопонижающих и перекачных колодцев, водосборников, насосных камер, являющихся составной частью работ по осушению, определяется принятыми технологической схемой и оборудованием по проведению выработки с учетом конкретных горно-геологических и горнотехнических условий.

От мощности угольного пласта и его строения зависят характер и величина подрывки вмещающих пород, вид забоя (угольный, смешанный или породный), целесообразность раздельной или одновременной выемки угля и породы и др.

При неустойчивых обводненных породах выработки на шахтах бассейна проводят, как правило, с подрывкой пород почвы. Это позволяет использовать защитные свойства угольного пласта и обеспечить тем самым устойчивость кровли и облегчить условия проведения подготовительной выработки, а также создать более благоприятные условия для ее поддержания (обеспечивается податливость крепи за счет вдавливания в почву) и работы очистного забоя (обеспечивается сток из очистного забоя воды на штрек).

Профилированные выработки главных направлений, прежде всего главные откаточные и конвейерные штреки, при волнистой гипсометрии залегания угольного пласта проводят иногда с подрывкой пород кровли. Мощность подрываемых вмещающих пород, с одной стороны, зависит от мощности угольного пласта и высоты проводимой выработки, а с другой, определяется требованиями создания благоприятных условий работы в очистном забое. При достаточной мощности угольного пласта (более 2,2 м) и высоких его физико-механических свойствах (коэффициент крепости более 1, отсутствие трещи-

новатости и др.) мощность подрывки не должна превышать 0,6 м.

Исходя из необходимости оставления в кровле предохранительной угольной пачки мощностью не менее 0,3—0,4 м и диапазона проводимых на шахтах бассейна выемочных штреков по высоте вид забоя зависит от мощности угольного пласта: при его мощности до 1,3 м (до 25% угля по высоте выработки) — забой породный, 1,3—2,2 м (до 75% угля) — смешанный, более 2,2 м (при сложном строении пласта и суммарной мощности прослоек породы не более 0,3 м) — угольный.

При проведении выработок по пласту с неоднородной структурой (угольный пласт сложного строения) мощность верхней угольной пачки зачастую определяет мощность предохранительной пачки, оставляемой в кровле выработки.

При однородной структуре породного забоя проведение выработки может осуществляться по осушенным или обводненным пескам с различными физико-механическими свойствами (в том числе плывунам), переувлажненным глинам различного состава, склонным к налипанию и пучению, известнякам различной крепости. Однако чаще всего структура породных забоев неоднородна и представлена сочетаниями перечисленных пород в различных по мощности соотношениях и расположению в поперечном сечении проводимой выработки.

Целесообразность отдельной или одновременной выемки угля и породы в смешанных забоях зависит от пластовой зольности угля, объемов проведения выработок на шахте, наличия обогатительной фабрики и в каждом конкретном случае устанавливается расчетом приведенных затрат.

Уклоны при волнистой гипсометрии угольного пласта являются определяющим фактором при выборе вида транспорта. Поскольку они могут быть различны как по значению, так и по направлению, то при проведении выработки на полную ее длину часто возникает необходимость в использовании в различные периоды разных видов транспорта или их сочетаний. В зависимости от значения знакопеременных уклонов рекомендуются следующие виды транспорта: при уклонах до 3° — колесно-рельсовый (с вагонетками различной вместимости) с использованием электровозов или конвейерный; при уклонах 3—16° — колесно-рельсовый с использованием лебедок с концевым канатом или конвейерный; при уклонах более 16° — колесно-рельсовый с использованием лебедок с концевым канатом или конвейерный с использованием скребковых конвейеров. При колесно-рельсовом транспорте глинистых пород, склонных к интенсивному налипанию, целесообразно использовать самоочищающиеся челюстные вагонетки с донной разгрузкой типа ВСШ.

Нарушенность угольного пласта весьма осложняет условия проходки и затрудняет выбор технологии проведения выработки. В зависимости от характера нарушения и его размеров проведение выработки на нарушенных участках, как правило, приводит к необходимости изменения применявшейся ранее технологии, остановки забоя на длительное время для выполнения специальных работ (опережающее осушение, забойное вакуумирование, замораживание, химическое упрочнение), а иногда и к изменению заданного направления проводимого штрека или заложению нового. Наличие геологических нарушений угольного пласта в направлении проводимого штрека целесообразно определять заранее одним из известных в настоящее время способов (опережающее бурение скважин, электроразведка, сейсмоакустический метод и др.). Возможность встречи нарушений должна учитываться при выборе технологии.

На выбор технологической схемы, оборудования и организации труда большое влияние оказывают производственно-технические факторы, из которых к основным относятся назначение, форма и размеры поперечного сечения выработки, ее проектная длина, срок окончания проходческих работ.

При принятых на шахтах Подмосковского бассейна схемах подготовки, назначение подготовительной выработки определяет место ее заложения относительно угольного пласта, срок службы, материал крепи и другие параметры технологии.

Выработки главных направлений, прежде всего главные откаточные и конвейерные штреки, проводятся в подугольной толще пород, часть главных вентиляционных штреков и прочих выработок, все подготавливающие и нарезные выработки — по угольному пласту.

Срок службы вскрывающих и части прочих выработок (заезды, камеры водоотливов и др.) зависит от сроков отработки запасов крыла шахтного поля или отдельной панели и составляет на шахтах Подмосковского бассейна несколько десятков лет, срок службы подготавливающих, нарезных и прочих выработок определяется временем подготовки и отработки выемочного столба и в основном равняется нескольким годам.

Форма поперечного сечения и срок службы проводимой выработки оказывают влияние на выбор технологии выполнения основных проходческих процессов (разрушение пород в забое, крепление и др.).

Наиболее проста технология работ при проведении выработок трапециевидной и прямоугольной форм поперечного сечения с возведением постоянной крепи из прямолинейных элементов. Современные проходческие комбайны избирательного действия позволяют с достаточной точностью обработать забой по всей площади поперечного сечения выработки с минимальными затратами ручного труда. При этом наличие плоского

верхнего элемента в раме значительно упрощает поддержание сопряжения лавы со штреком.

Более сложна технология проведения выработок арочной и особенно круглой форм при наличии обратного свода, так как применяемые в настоящее время проходческие комбайны избирательного действия не обеспечивают разрушение породы в нижней части сечения выработки и погрузку отбитой горной массы. Значительно усложняются также крепление, доставка крепи в забой и др. В связи с этим арочную и круглую формы поперечного сечения принимают лишь при тяжелых условиях поддержания горных выработок (значительное всестороннее горное давление, пучение почвы, ее низкая несущая способность и др.).

Основными требованиями, определяющими размеры поперечного сечения проводимой выработки, являются обеспечение очистных забоев достаточным количеством воздуха и соблюдение требуемых Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах (ПБ) расстояний между средствами транспорта и крепью. В последние годы наметилась тенденция к увеличению размеров поперечных сечений выработок. Это способствует безремонтному содержанию выработок, вынесению на штрек приводов лавных конвейеров, что уменьшает длину и трудоемкость подготовки ниш, созданию благоприятных условий для использования средств механизации вспомогательных процессов и совмещения этих процессов с основными. Вместе с тем увеличение размеров поперечного сечения ведет к росту продолжительности и трудоемкости всех проходческих процессов, снижению скорости проведения выработок, повышению удельного расхода материалов и др.

Проектная длина проводимой выработки также влияет на выбор способа проведения выработки, вида транспорта и другого оборудования. Основными критериями при этом являются минимальные затраты, продолжительность и трудоемкость выполнения работ, особенно вспомогательных. Так, при проектной длине 50 м и площади поперечного сечения выработки 7—9 м<sup>2</sup> в проходке предпочтительнее ее проводить с помощью буровзрывных работ или отбойных молотков, поскольку высокая стоимость оборудования, значительная трудоемкость монтажа-демонтажа комбайнов обуславливает резкое увеличение удельных затрат.

Более того, длина выработки определяет выбор типа проходческого комбайна. Как видно из графика (рис. 2.16), в условиях Подмосковского бассейна применение комбайна ПК-3М экономически оправдано при длине выработки не менее 50—100 м, комбайна ПК-3Р из-за большей его массы и более высокой стоимости — 150—200 м. Минимальная длина выработки, при которой целесообразно применение комбайна ГПКС,

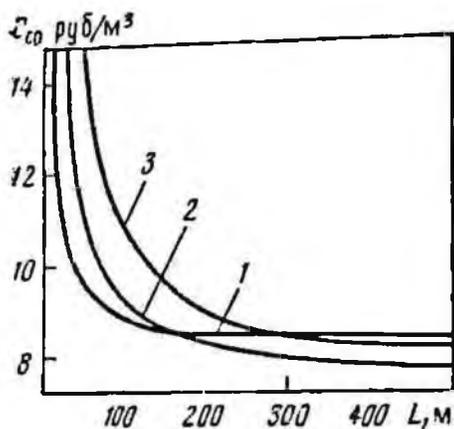


Рис. 2.16. Зависимость приведенных затрат  $C_{пр}$  от проектной длины выработки  $L$  при применении комбайнов ПК-3М (1), ПК-3Р (2) и ГПКС (3)

составляет около 300 м. При увеличении проектной длины выработки влияние стоимости оборудования на приведенные затраты снижается, поскольку более существенно влияют другие производственно-технические факторы.

Проектная длина выработки оказывает влияние также на выбор другого проходческого оборудования, в частности, транспортных средств. С увеличением длины выработки, а следовательно и длины откатки производительность циклического (рельсового) транспорта снижается. При длине более 400—500 м она начинает лимитировать скорость проведения выработки.

При применении же непрерывного (конвейерного) транспорта увеличение проектной длины выработки не влияет на скорость подвигания проходческого забоя в смену, которая может в 2—3 раза превышать показатели, достигаемые при применении различных видов рельсового транспорта. В таких условиях в качестве основного вида транспорта целесообразно использовать конвейерный, а вспомогательного — рельсовый, монорельсовый, грузовые дороги и др.

Один из основных производственно-технических факторов, влияющих на выбор технологической схемы и организации проходческих работ, — срок проведения выработки, обеспечивающий своевременное и качественное воспроизводство очистного фронта:

$$t_{пр} = t_{отр} - \Sigma t_{рез} = \frac{L h \rho}{NQ} - \Sigma t_{рез}, \quad (2.1)$$

где  $t_{пр}$  — продолжительность проведения выработок при подготовке выемочного столба к отработке, мес;  $t_{отр}$  — длительность отработки выемочного столба, мес;  $\Sigma t_{рез}$  — суммарный резерв времени, учитывающий возможное перевыполнение плана добычи угля, необходимость выполнения дополнительного объема проходческих работ, работ по осушению, монтажу оборудования и др.;  $\Sigma t_{рез} = (0,25 \div 0,4) t_{отр}$ , мес;  $L$  — средняя длина

выемочного столба, м;  $l$  — средняя длина очистного забоя, м;  $h$  — средняя вынимаемая мощность угольного пласта, м;  $\rho$  — средняя плотность угля, т/м<sup>3</sup>;  $N$  — число рабочих дней в месяце;  $Q$  — среднесуточная нагрузка на очистной забой, т.

Длительность проведения выработки при известной ее проектной длине зависит от подвигания забоя в смену, режима работы по проходке и числа рабочих дней в месяце.

Подвигание забоя в смену ( $m$ ) определяется продолжительностью выполнения одного цикла, подвиганием забоя за цикл, количеством выполненных в течение смены циклов и может быть найдено по формуле

$$v_{см} = 60l_{ц} (t_{см}^* - t_{пз}) \kappa_{п} / t_{ц}, \quad (2.2)$$

где  $l_{ц}$  — подвигание забоя за цикл, м;  $t_{см}$  — длительность смены, мин;  $t_{пз}$  — продолжительность подготовительно-заключительных операций, мин;  $\kappa_{п}$  — коэффициент, учитывающий наличие регламентированных перерывов и простоев по организационным причинам в течение смены, определяемый как отношение их общей продолжительности к длительности смены;  $t_{ц}$  — продолжительность цикла, мин.

При проведении выработок в устойчивых породах подвигание забоя за цикл определяется техническими возможностями применяемого оборудования и обычно в условиях шахт Подмосковского бассейна не превышает 1 м.

При неустойчивых породах подвигание забоя за цикл зависит, как правило, от величины передвижки временной крепи, а при ее отсутствии — от расстояния между рамами постоянной крепи и обычно не превышает 0,5 м.

Во всех случаях подвигание забоя за цикл принимается кратным числу возводимых рам постоянной крепи, что при применении рельсового транспорта позволяет частично или полностью совместить процесс крепления с обменом партии груженых вагонеток на порожние.

Продолжительность проходческого цикла равна суммарной длительности всех входящих в него процессов и операций с учетом возможного их совмещения во времени. В зависимости от взаимной увязки выполнения отдельных процессов и операций между собой во времени организация работ по проведению выработок может быть различной.

При отсутствии совмещения, когда основные процессы и операции выполняются последовательно, проходческие циклы четко разделяются между собой во времени. Характерной особенностью такой технологической схемы является наличие вынужденных перерывов в работе оборудования. Поэтому технологическая схема получила название *циклической*. Примерами такой схемы могут служить проведение выработок с приме-

нением буровзрывных работ, а также комбайнов при возведении постоянной крепи непосредственно у забоя.

При полном совмещении основные процессы выполняются практически без перерывов. Характерная особенность такой технологической схемы — отсутствие четкого разделения во времени проходческих циклов, в связи с чем такая технологическая схема получила название *поточной*.

Промежуточное положение между циклической и поточной схемами занимает технологическая схема с частичным совмещением выполнения основных процессов и операций (*циклично-поточная схема*).

Возможные варианты взаимной увязки основных и вспомогательных проходческих процессов и операций внутри проходческого цикла, а также взаимная увязка проходческих циклов между собой в течение смены при перечисленных выше технологических схемах организации работ приведены на рис. 2.17.

Продолжительность проходческого цикла (мин) при проведении выработки с применением проходческого комбайна или щита может быть определена по формуле

$$t_{ц} = t_{к} + (1 - \kappa_{с.кр})t_{кр} + (1 - \kappa_{с.тр})t_{тр} + (1 - \kappa_{с.о})t_{о} + (1 - \kappa_{с.в})t_{в}, \quad (2.3)$$

где  $\kappa_{с.кр}$ ,  $\kappa_{с.тр}$ ,  $\kappa_{с.о}$ ,  $\kappa_{с.в}$  — соответственно коэффициенты, учитывающие совмещение крепления, транспортирования горной массы, осушения и вспомогательных процессов с работой комбайна и между собой.

Значения входящих в формулу (2.3) коэффициентов определяются как отношение продолжительности процесса, совмещенного с работой комбайна или другими процессами проходческого цикла, к общей его продолжительности. При отсутствии совмещения (циклическая технологическая схема) этот коэффициент равен 0, при полном совмещении (поточная технологическая схема) — 1. При частичном совмещении процесса коэффициент имеет промежуточное значение.

Продолжительность отдельного процесса зависит от трудоемкости и объема работ, который необходимо выполнить для того, чтобы обеспечить подвигание забоя на цикл, производительности применяемых средств механизации, а при их отсутствии — числа участвующих в его выполнении рабочих.

Трудоемкость отдельного процесса проходческого цикла (чел-мин) может быть определена с использованием выражения вида

$$T_i = [n_{м_i} / (\kappa_{м_i} P_i) + (1 - \kappa_{м_i}) R_i] W_i, \quad (2.4)$$

где  $n_{м_i}$  — численность проходчиков, занятых на обслуживании средств механизации, используемых при выполнении  $i$ -го про-

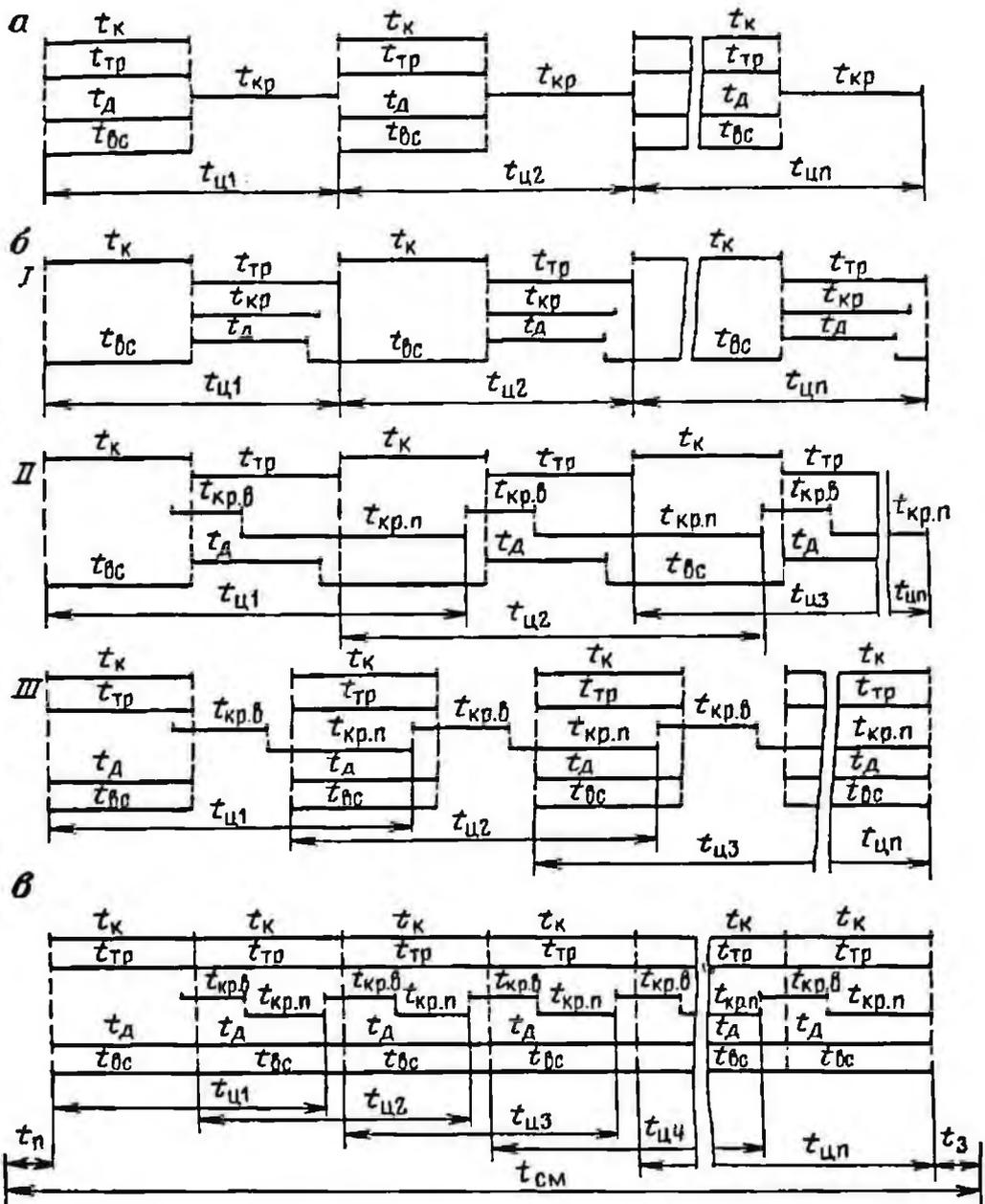


Рис. 2.17. Планogramмы выполнения процессов проходческого цикла при различных технологических схемах организации работ по проведению выработок комбайновым способом:

а — циклической при непрерывном (конвейерном) транспорте и отсутствии временной крепи; б — циклично-поточной при циклическом транспорте и отсутствии временной крепи (I), при циклическом транспорте и наличии временной крепи (II), при непрерывном транспорте и наличии временной крепи (III); в — поточной при непрерывном транспорте и наличии временной крепи;  $t_k$ ,  $t_{тр}$  и  $t_{кр}$  — соответственно продолжительность работы комбайна, транспортирования грузов и крепления;  $t_{кр.в}$  и  $t_{кр.п}$  — соответственно длительность возведения временной и постоянной крепи;  $t_д$  — продолжительность проходки дренажных устройств;  $t_{вс}$  — продолжительность выполнения вспомогательных процессов;  $t_{ц1}$ ,  $t_{ц2}$ , ...,  $t_{цn}$  — соответственно длительность 1, 2, ..., n-го циклов;  $t_n$  и  $t_з$  — соответственно продолжительность подготовительных и заключительных операций;  $t_{см}$  — длительность смены

цесса;  $K_{m_i}$  — коэффициент надежности средств механизации, используемых при выполнении  $i$ -го процесса;  $P_i$  — производительность средств механизации, используемых при выполнении  $i$ -го процесса, ед/мин;  $K_{m_i}$  — коэффициент механизации по  $i$ -му процессу, определяемый как отношение трудоемкости механизированных операций к общей трудоемкости данного процесса;  $R_i$  — общая трудоемкость выполнения  $i$ -го процесса вручную на единицу объема, которая принимается по существующим нормативным документам, чел-мин;  $W_i$  — объем работ по  $i$ -му процессу на цикл, единиц.

Средняя трудоемкость отдельных процессов и операций проходческого цикла при проведении выработки комбайном ПК-3Р на шахтах Подмоскoвного бассейна, характеризуется данными табл. 2.2, полученными на основе большого числа хронометражных наблюдений.

Продолжительность полностью механизированных процессов зависит от производительности применяемого оборудования. Расчеты продолжительности процессов проходческого цикла целесообразно осуществлять, используя показатель фактической производительности оборудования, которая значительно меньше теоретической, поскольку учитывает выполнение различных вспомогательных операций. Так, при работе комбайна возникает необходимость осуществлять различные маневры его ходовой частью, повторную подборку разрыхленной горной массы при зачистке почвы, разрушение негабаритных кусков угля или породы и другие операции, при выполнении которых разрушение породы в забое прекращается.

Продолжительность работы комбайна (мин) при продвижении забоя на цикл может быть определена по формуле

$$t_k = l_{ц} S_{пр} / P_k, \quad (2.5)$$

где  $S_{пр}$  — площадь поперечного сечения проводимой выработки в проходке, м<sup>2</sup>;  $P_k$  — фактическая производительность комбайна в данных условиях, м<sup>3</sup>/мин.

Фактическая производительность комбайна ПК-3Р при проведении выемочных штреков в сухих (водопиток до 5 м<sup>3</sup>/ч) и обводненных забоях, установленная по результатам многочисленных хронометражных наблюдений на шахтах Подмоскoвного бассейна, составляет в угольных забоях соответственно 0,36 и 0,32 м<sup>3</sup>/мин, в смешанных забоях — 0,28 и 0,24 м<sup>3</sup>/мин. Иными словами, она в 3—5 раз ниже теоретической производительности указанного комбайна. Подобная же картина наблюдается при применении комбайнов других типов.

Продолжительность частично механизированных процессов, предусматривающих выполнение определенного объема работ вручную, определяется не только производительностью приме-

ТАБЛИЦА 2.2

Процессы и операции	Трудоёмкость		Удельный вес в общей трудоёмкости за цикл, %
	чел-мин/цикл	чел-мин/м³	
Разработка забоя, уборка и разравнивание горной массы в вагонетках, маневрирование составом под перегружателем	30,3	7,6	17,5
Крепление	62,7	15,5	36,4
В том числе:			
заготовка элементов деревянной крепи	16,2	4	9,4
подноска элементов	10,9	2,8	6,3
подготовка лунок	4,6	1,1	2,6
установка стоек	4,8	1,2	2,8
установка верхнего элемента	5	1,3	2,8
расклинивание рамы крепи	7,5	1,9	4,4
затяжка кровли и соков выработки	13,7	3,4	8,1
Транспортирование горной массы и материалов	21	5,2	12,1
Устройство дренажной канавы	38,7	9,7	22,5
В том числе:			
отбойка породы	15,6	3,9	9
погрузка горной массы	15,2	3,8	8,8
крепление	7,9	2	4,7
Вспомогательные процессы	19,8	4,9	11,5
В том числе:			
зачистка почвы	6,8	1,7	3,9
перевешивание подвески	0,4	0,1	0,2
проверка направления выработки	0,4	0,1	0,2
разгрузка материалов	6,7	1,7	3,8
наращивание рельсового пути	5,5	1,3	3,4
<b>Всего</b>	<b>172,5</b>	<b>43,1</b>	<b>100</b>

няемого оборудования, но и числом участвующих в их выполнении рабочих. При этом совмещение операций, выполняемых вручную, с механизированными, исходя из условия безопасности, возможно только в случае нахождения проходчиков вне зоны работы оборудования.

Продолжительность процесса крепления при применении крепеустановщика

$$t_{кр} = \left[ \frac{n_{мкр}}{k_{нкр} P_{кр}} + (1 - k_{мкр}) R_{кр} \right] \frac{\rho l_c}{n_{кр}}, \quad (2.6)$$

где  $\rho$  — плотность установки крепи, рам/м;  $n_{кр}$  — численность участвующих в креплении рабочих.

Численность участвующих в выполнении данного процесса рабочих не является постоянной и зависит от общей численности проходческого звена, применяемой технологической схемы организации работ и используемого оборудования.

Численность рабочих, участвующих в выполнении различных процессов проходческого цикла при применении циклической, поточной и циклично-поточной технологических схем организации работ может быть определена по приведенным на рис. 2.17 планограммам.

При циклической технологической схеме организации работ, применении непрерывного (конвейерного) транспорта и отсутствии временной крепи крепление выполняется при остановленном комбайне (см. рис. 2.17, а). В этом случае численность участвующих в креплении рабочих равна численности звена, включая машиниста проходческого комбайна.

При поточной технологической схеме с применением непрерывного транспорта и использованием временной крепи, при которой процессы проходческого цикла выполняются без перерывов в работе комбайна (см. рис. 2.17, в), в возведении временной и постоянной крепей, транспортировании горной массы и материалов, в работах по осушению и на вспомогательных операциях могут быть заняты только специально выделенные для этого рабочие (машинист комбайна, крепильщики и др.).

При технологической схеме с частичным совмещением основных и вспомогательных процессов численность проходчиков, участвующих в их выполнении, может быть определена по следующим формулам:

при применении циклического транспорта и отсутствии временной крепи (см. рис. 2.17, б, I)

$$n_{кр} = \frac{(n_{зв} - n_о) (n_{зв} - n_{тр} - n_о)}{n_{зв} - n_о - (1 - k_{с.кр} n_{тр})}, \quad (2.7)$$

$$n_о = n_{зв} - n_{тр} - n_{кр}; \quad (2.8)$$

$$n_в = n_{зв} - n_к, \quad (2.9)$$

где  $n_{зв}$  — общая численность рабочих в звене;  $n_{кр}$ ,  $n_о$ ,  $n_{тр}$ ,  $n_в$  и  $n_к$  — численность рабочих, занятых соответственно креплением, устройством дренажных канав, транспортированием грузов, вспомогательными работами и управлением комбайном;

при применении циклического транспорта и наличии временной крепи (см. рис. 2.17, б, II)

$$n_{кр} = \frac{(n_{зв} - n_{тр} - n_о) (n_{зв} - n_в - n_к)}{n_{зв} - (1 - k_{с.кр}) (n_о - n_{тр}) - k_{с.кр} (n_в + n_к)}; \quad (2.10)$$

$$n_о = n_{зв} - n_{тр} - n_{кр}; \quad (2.11)$$

$$n_в = n_{зв} - n_к; \quad (2.12)$$

при применении непрерывного транспорта и наличии временной крепи (см. рис. 2.17, б, III)

$$n_{кр} = \frac{(T_{кр.в} + T_{кр.п})n_{зв}n'_{кр}}{[\kappa'_{с.кр}n_{зв} + (1 - \kappa'_{с.кр})n_{кр}]T_{кр.в} + [\kappa''_{с.кр}n_{зв} + (1 - \kappa''_{с.кр})n'_{кр}]T_{кр.п}} \quad (2.13)$$

где  $T_{кр.в}$ ,  $T_{кр.п}$  — трудоемкость возведения соответственно временной и постоянной крепей, чел-мин на цикл;  $\kappa'_{с.кр}$ ,  $\kappa''_{с.кр}$  — коэффициент совмещения с другими операциями соответственно при возведении временной и постоянной крепей;  $n'_{кр}$  — численность рабочих, занятых только креплением,

$$n'_{кр} = (\kappa'_{с.кр}T_{кр.в} + \kappa''_{с.кр}T_{кр.п})/t_k; \quad (2.14)$$

$$n_o = n_{зв} - n_k - n_{тр} - n_{кр} - n_b; \quad (2.15)$$

$$n_b = n_{зв} - n_k - n_{кр} - n_{тр} - n_o. \quad (2.16)$$

Для того, чтобы обеспечить работу забоя по поточной технологической схеме (см. рис. 2.17, в), когда продолжительность выполнения других процессов не должна превышать длительности работы комбайна при выемке угля и породы на длину заходки, численность рабочих находится по формулам

$$n_{кр} = (T_{кр.в} + T_{кр.п})/t_k; \quad (2.17)$$

$$n_o = T_o/t_k; \quad (2.18)$$

$$n_b = T_b/t_k. \quad (2.19)$$

Продолжительность транспортирования горной массы (мин) при применении колесно-рельсового транспорта может быть определена по формулам:

при откатке лебедками с концевым канатом

$$t_{тр} = 2L_{ср}/(60V_{л}) + 2n_{л}t_{п} + t'; \quad (2.20)$$

при откатке электровозами или самоходными вагонетками

$$t_{тр} = 2L_{ср}/(60V_{э}) + t', \quad (2.21)$$

где  $L_{ср}$  — проектная длина выработки, м;  $V_{л}$ ,  $V_{э}$  — средняя скорость откатки соответственно при использовании лебедок или электровозов (самоходных вагонеток), м/с;  $n_{л}$  — число лебедо, устанавливаемых в одном штреке;  $t_{п}$  — длительность перецепки каната, мин;  $t'$  — продолжительность обмена партии вагонеток на откаточном штреке или разгрузки самоходного состава, мин.

Продолжительность процессов, выполняемых полностью вручную (настилка рельсового пути и др.), определяется как отношение их трудоемкости к численности участвующих в их выполнении рабочих.

ТАБЛИЦА 2.3

Процессы и операции	Несовмещенная продолжительность в смену, мин	Удельный вес в длительности смены, %
Подготовительно-заключительные	35	8,4
Работа комбайна	78	18,6
Крепление	170	40,2
Транспортирование горной массы и материалов	Совмещено с креплением	
Проходка дренажной канавы	Совмещение с креплением и транспортированием грузов	
Вспомогательные	77	18,3
Перерывы и простои	60	14,5
Итого	420	100

Средняя продолжительность выполнения отдельных процессов и операций проходческого цикла при проведении выработок комбайном ПК-3Р на шахтах Подмосквовного бассейна характеризуется данными табл. 2.3.

Приведенные данные позволяют оценить эффективность различных путей повышения скорости подвигания комбайнового забоя.

Наиболее эффективным из них является сокращение продолжительности процесса крепления, на долю которого приходится около 40% длительности смены. Сокращение продолжительности крепления может быть достигнуто за счет увеличения численности участвующих в выполнении этого процесса проходчиков, его совмещения с работой комбайна при применении временной крепи с выносом места установки постоянной крепи из зоны исполнительного органа, механизации наиболее трудоемких операций, совершенствования конструкции рамной постоянной крепи и других мероприятий.

Из графика, приведенного на рис. 2.18 и отображающего зависимость скорости подвигания забоя от численности проходческого звена при различной степени совмещения процесса крепления с работой комбайна и выполнении процессов в соответствии с приведенными на рис. 2.17 планами, видно, что при поточной технологии скорость подвигания забоя в наиболее характерных для шахт Подмосквовного бассейна условиях в 1,5—1,7 раза выше по сравнению с циклической. Поэтому при выборе технологической схемы организации работ и подборе всего комплекта оборудования для проведения подготовительных выработок комбайновым способом следует стремиться к максимально возможному совмещению процессов и операций проходческого цикла. Производительность средств механизации процессов проходческого цикла должна соответствовать

Рис. 2.18. Зависимость сменной скорости подвигания забоя  $v_{см}$  от численности проходческого звена  $n_{зв}$  при различных технологических схемах организации работ: 1 — циклической с коэффициентом совмещения крепления  $\kappa_{с.кр} = 0$ ; 2, 3, 4 — циклично-поточной с коэффициентом  $\kappa_{с.кр}$ , равным соответственно 0,3; 0,5 и 0,8 (см. рис. 2.17, б, соответственно I, II, III); 5 — поточной при  $\kappa_{с.кр} = 1$

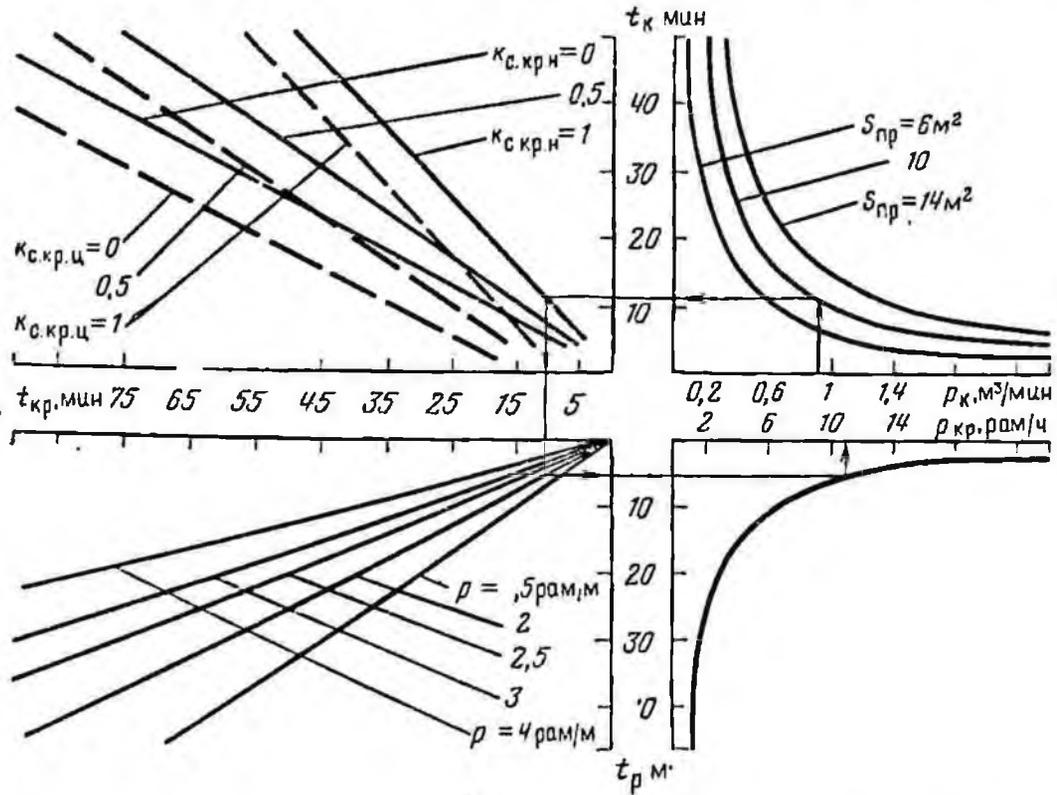
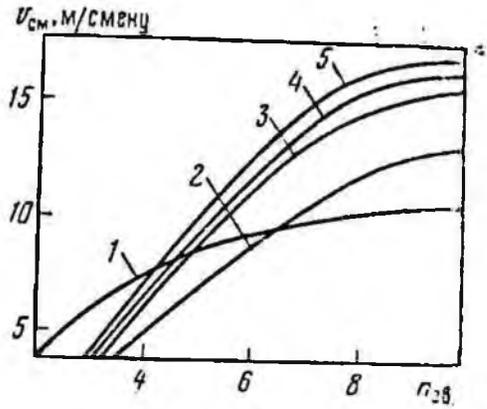


Рис. 2.19. Номограмма для определения производительности крепиустановщика  $P_{кр}$  в зависимости от производительности комбайна  $P_{к}$ , площади поперечного сечения проводимой выработки в проходке  $S_{пр}$ , коэффициента совмещения крепления с работой комбайна и транспортированием грузов при непрерывном ( $\kappa_{с.кр.н}$ ) и циклическом ( $\kappa_{с.кр.ц}$ ) транспорте, плотности установки крепи  $\rho$

или превышать максимально возможную (теоретическую) производительность основной проходческой машины по отбойке и погрузке горной массы. В противном случае будут иметь место простои. Особенно важно соблюдать указанное положение при поточной схеме организации работ.

На рис. 2.19 приведена номограмма, которая в зависимости от производительности комбайна, площади поперечного сече-

ния проводимой выработки в проходке, вида транспорта, схемы организации работы, плотности установки рамной крепи позволяет определить необходимую производительность крепеустановщика. Из номограммы видно, что необходимая производительность крепеустановщика при теоретической производительности комбайна ПК-3Р 1,2 т/мин (0,9 м<sup>3</sup>/мин), поперечном сечении проводимой по углю выработки 10 м<sup>2</sup> в проходке, конвейерном транспорте, поточной схеме организации работ и плотности установки постоянной крепи 2 рамы/м должна равняться 10—12 рам/ч.

При наличии проходческих процессов, выполняемых частично или полностью вручную, повышения скорости подвигания забоя в смену можно добиться путем увеличения численности проходческого звена. Однако увеличивать его численность следует до определенного предела, так как дальнейший рост численности ведет к снижению производительности труда проходчиков (рис. 2.20). Для наиболее характерных условий проведения выработок на шахтах Подмосквовного бассейна оптимальная численность проходческого звена в комбайновом забое равна 6—8, из которых 4—5 проходчиков заняты креплением вручную. Для сокращения численности проходческого звена при сохранении скорости подвигания забоя в смену необходимо в первую очередь механизировать процесс крепления. Это позволяет увеличить производительность труда проходчика в 1,5—

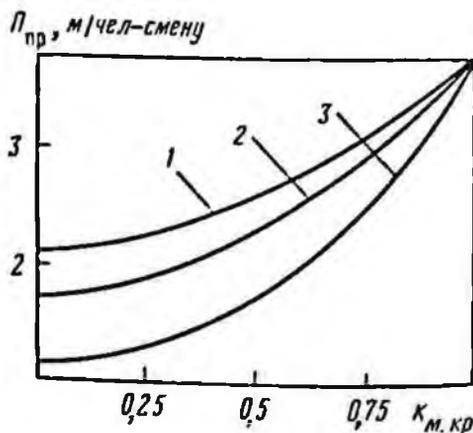
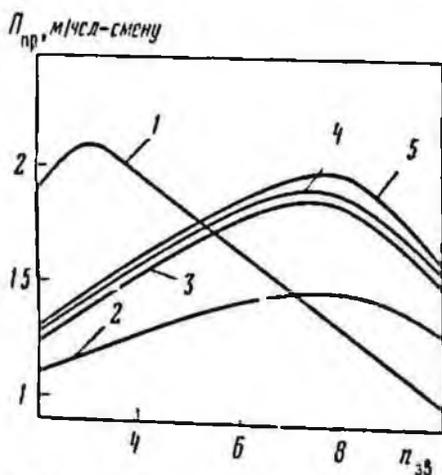


Рис. 2.20. Зависимость производительности труда проходчика  $P_{пр}$  от численности проходческого звена  $n_{зс}$  при различных технологических схемах организации работ:

1 — циклической с коэффициентом совмещения крепления  $K_{с.кр}=0$ ; 2, 3, 4 — циклично-поточной с  $K_{с.кр}$ , равным соответственно 0,3; 0,5 и 0,8 (см. рис. 2.17, б, соответственно I, II и III); 5 — поточной с  $K_{с.кр}=1$

Рис. 2.21. Зависимость производительности труда проходчика  $P_{пр}$  от коэффициента механизации возведения постоянной крепи  $K_{м.кр}$ : 1 — деревянной трапецевидной; 2 — металлической трапецевидной; 3 — сборной железобетонной трапецевидной

2 раза (рис. 2.21). Особенно необходимо механизировать операции по установке элементов металлических и сборных железобетонных крепей.

Рассмотренный выше аналитический метод расчета является универсальным, поскольку он позволяет определить параметры технологических схем и получаемые при их реализации показатели скорости сменного подвигания забоя во всем диапазоне изменения горно-геологических, производственно-технических и организационных факторов.

Среди других методов расчета, отличающихся меньшей трудоемкостью, но пригодных к применению лишь в определенных границах значений учитываемых факторов, часто используются методы, основанные на математической обработке большого числа данных хронометражных наблюдений. Так, количественная оценка совокупного влияния основных горно-геологических, производственно-технических и организационных факторов на скорость подвигания забоя в смену при проведении штреков главных направлений может быть выполнена по методике ВНИИОМШС [32].

Расчет скорости подвигания (м/смену) забоя выемочного штрека при применении комбайна ПК-3Р может быть выполнен с использованием разработанной ПНИУИ следующей регрессионной модели:

$$\begin{aligned} v_{см} = & - 8,098 - 1,525X_1 + 0,192X_1^2 - 0,678X_2 - \\ & - 0,449X_2^2 - 0,004X_3 + 0,1 \cdot 10^{-5}X_3^2 - 1,417X_4 + \\ & + 0,222X_4^2 - 0,1X_5 + 0,12X_5^2 - 4,309X_6 + \\ & + 12,395X_6^2 + 0,291X_7 - 0,027X_7^2 + 2,77X_8 - \\ & - 0,849X_8^2 - 0,159X_9 + 0,021X_9^2 + 0,06X_{10} - 0,009X_{10}^2 + \\ & + 0,215X_{11} - 0,03X_{11}^2 - 0,954X_{12} - 3,515X_{12}^2, \end{aligned} \quad (2.22)$$

где  $X_1$  — плотность установки крепи, рам/м;  $X_2$  — коэффициент подрывки;  $X_3$  — длина откатки, м;  $X_4$  — численность звена;  $X_5$  — число вагонеток в партии;  $X_6$  — максимальный знакопеременный уклон выработки, градус;  $X_7$  — площадь поперечного сечения выработки в проходке, м<sup>2</sup>;  $X_8$  — скорость движения состава, м/с;  $X_9$  — вместимость партии вагонеток, м<sup>3</sup>;  $X_{10}$  — приток воды в выработку, м<sup>3</sup>/ч;  $X_{11}$  — число лебедок в штреке;  $X_{12}$  — удельный вес простоев в общей продолжительности смены, доли единицы.

В табл. 2.4 приведены минимальные, максимальные и средние значения факторов, учитываемых уравнением связи, и показатели сменной скорости подвигания забоя выемочного штрека.

Проверочные расчеты с использованием ЭВМ позволили установить, что в диапазоне рассматриваемых условий макси-

ТАБЛИ

Значения	Сменная скорость подвигания забоя, м	Влияю				
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
Минимальные	0,8	2	0	100	3	1
Максимальные	9,3	4	0,83	2000	7	7
Средние	3,4	2,82	0,23	493	4,37	4,05

малые отклонения показателей сменной скорости подвигания забоя, определенные по выражению (2.22), от фактических не превышают 20%.

Выбор технологической схемы и оборудования для проведения подготовительной выработки производится не только путем оценки соответствия их технических возможностей горно-геологическим и производственно-техническим условиям, но и на основе экономического сопоставления различных возможных вариантов выполнения работ. Основным критерием оценки эффективности того или иного варианта принято считать приведенные затраты, которые являются функцией как производственно-технических и организационных факторов, так и горно-геологических условий проведения выработки.

Приведенные затраты на проведение единицы длины или объема выработки (руб/м, руб/м<sup>3</sup>) определяются по формуле

$$C_{пр} = C_{зп} + C_a + C_{мд} + C_э + C_m + C_{уч.общ} + C_k, \quad (2.23)$$

где  $C_{зп}$ ,  $C_a$ ,  $C_{мд}$ ,  $C_э$ ,  $C_m$  — прямые нормированные затраты на единицу длины (объема) выработки соответственно по элементам заработная плата, амортизационные отчисления, монтаж-демонтаж оборудования, электроэнергия, материалы, руб.;  $C_{уч.общ}$  — участковые и общешахтные расходы на единицу длины (объема) выработки, руб.;  $C_k$  — удельные капитальные затраты на единицу длины (объема) выработки, руб.

Согласно расчетам средние приведенные затраты на проведение выработки проходческими комбайнами ПК-ЗР, ГПКС составляют в условиях шахт Подмосквовного бассейна от 8,4 до 14,2 руб/м<sup>3</sup>.

Технологические схемы проведения главных (магистральных) штреков. При проведении главных (магистральных) штреков на шахтах Подмосквовного бассейна основными являются следующие технологические схемы:

с применением проходческих комбайнов легкого или тяжелого типов способами сплошного, уступного или ступенчатого забоя, а также способом с направляющим (опережающим) штреком;

щле факторы						
$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$
0	6,5	0,15	2,2	0	0	0
15	11	2,75	13,2	15	9	0,85
4,6	8,09	0,65	6,49	8,48	1,65	0,15

с использованием проходческих щитов или щитовых проходческих комплексов с полным или частично механизированным разрушением забоя на полное сечение или отдельными участками;

с применением отбойных молотков и погрузочных машин способами сплошного, ступенчатого, уступного забоев или способом с направляющим (опережающим) штреком;

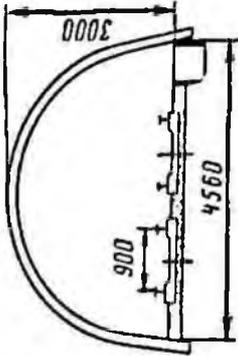
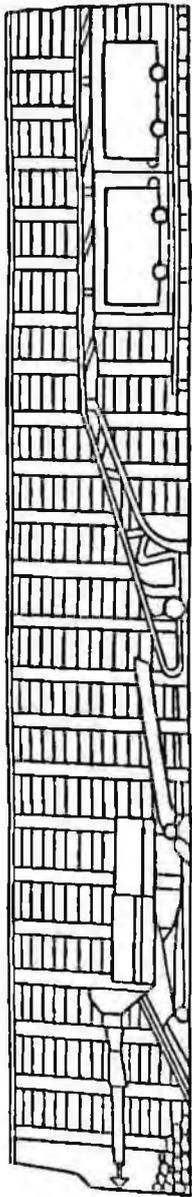
с применением отбойных молотков и опережающей (забивной) крепи способом сплошного или ступенчатого забоя.

В качестве средств транспорта при всех технологических схемах предусматриваются электровозы или лебедки с концевым канатом.

Применительно к условиям шахт Подмоскoвнoгo бассейна для проведения сплошным забоем двухпутного главного откаточного штрека с площадью поперечного сечения в свету  $12 \text{ м}^2$  (в проходке  $14,5 \text{ м}^2$ ) по углю, песку и глине при наличии в почве выработки известняков ВНИИОМШС разработана технологическая схема, предусматривающая применение комбайна ПК-9Р (4ПП-2) [32]. Погрузка горной массы осуществляется комбайном в вагонетки УВГ-2,5, откатка — электровозом. В качестве постоянной крепи может применяться крепь ПСК-2 из железобетонных стоек и металлических верхняков из спецпрофиля типа СВП, либо металлическая крепь АШВ или КЖК при плотности установки 1,5—2 рамы на метр в сочетании с железобетонной затяжкой всплошную.

Схема расстановки оборудования, график организации работ и проектное сечение проводимой выработки при применении этой технологической схемы приведены на рис. 2.22.

Проходческий цикл начинается с разрушения породы в забое рабочим органом комбайна и погрузки отбитой горной массы в вагонетки. Этим заняты машинист комбайна и два проходчика, один из которых следит за погрузкой. Машинист электровоза осуществляет обмен вагонеток под перегружателем комбайна по мере их загрузки. Остальные проходчики готовят элементы крепи к установке и подносят их от места складирования к комбайну. После выемки породы на длину заходки и оформления забоя устанавливается постоянная крепь.



Процессы	Объем работ	Продолжительность, мин	Продолжительность, мин	Трудоемкость, чел. мин	Часы смены												
					6	7	8	9	10	11							
Прием и сдача смены	—	10	60														
Работа комбайна	2 м	110	330														
Подноска и подготовка крепи	3 рамы	110	330														
Установка постоянной крепи	3 рамы	210	1260														
Транспортирование грузов	2 м	30	30														
Крепление водоотливной канавки	2 м	30	60														
Настилка временного рельсового пути	2 м	30	60														
Прочие вспомогательные работы	—	30	30														

Рис. 2.22. Технологическая схема проведения сплошным забоем с помощью комбайна 4ПП-2 двухпутного главного (магистрального) откаточного штрека

В выполнении этого процесса принимают участие все проходчики, кроме машиниста электровоза. Затем цикл работ повторяется. В конце смены все члены звена заняты устройством и креплением дренажной канавы, а также выполнением прочих вспомогательных процессов и операций.

В соответствии с разработанным ВНИИОМШС графиком организации работ проходческое звено из шести человек проводит за 6-ти часовую смену 2 м выработки. Скорость проведения штрека за месяц по такой технологии составляет 180 м, производительность труда проходчиков — 0,3 м/чел-смен (4,5 м<sup>3</sup>/чел-смен) в проходке, трудоемкость проведения 1 м<sup>3</sup> готовой выработки — 0,27 чел-смены, средние затраты на проведение 1 м выработки — 190 руб.

На рис. 2.23 приведена разработанная ВНИИОМШС [32] технологическая схема проведения главного (магистрального) вентиляционного штрека с площадью поперечного сечения 13,2 м<sup>2</sup> в свету (17,1 м<sup>2</sup> в проходке) смешанным забоем с направляющим (опережающим) штреком.

Штрек проводится в две фазы. При первой фазе комбайном ПК-3Р проводят штрек с площадью поперечного сечения 11,2 м<sup>2</sup> в проходке. Отбитую породу грузят в вагонетки УВГ-2,5. Обмен вагонеток производится электровозом. В качестве крепи применяются деревянные рамы при плотности установки три рамы на метр.

На проведении опережающего штрека занято звено из пяти проходчиков. Подвигание забоя за смену составляет 2,4 м.

При второй фазе опережающий штрек расширяется до проектного сечения, устанавливается постоянная крепь, устраивается водоотливная канава и укладывается постоянный рельсовый путь.

Проходческий цикл начинается с установки и частичного снятия двухстороннего подхвата. По мере расширения сечения выработки с помощью отбойных молотков рамы деревянной крепи снимаются. Отбитую породу грузят в вагонетки погрузочной машиной. На расширенном до проектного сечения участке выработки устанавливается арочная крепь из спецпрофиля СВП-27 при плотности две рамы на метр.

На проведении штрека во второй фазе занято звено из шести проходчиков, которые обеспечивают подвигание забоя за смену на 1 м. Для осушения проводимой выработки с интервалом 10 м устанавливаются забивные фильтры.

В соответствии с графиком организации работ скорость проведения выработки составляет 70 м/мес, производительность труда проходчика — 0,72 м/чел-смен (1,62 м<sup>3</sup>/чел-смен в свету), трудоемкость — 0,61 чел-смен/м<sup>3</sup>, затраты на проведение 1 м штрека — 360 руб.

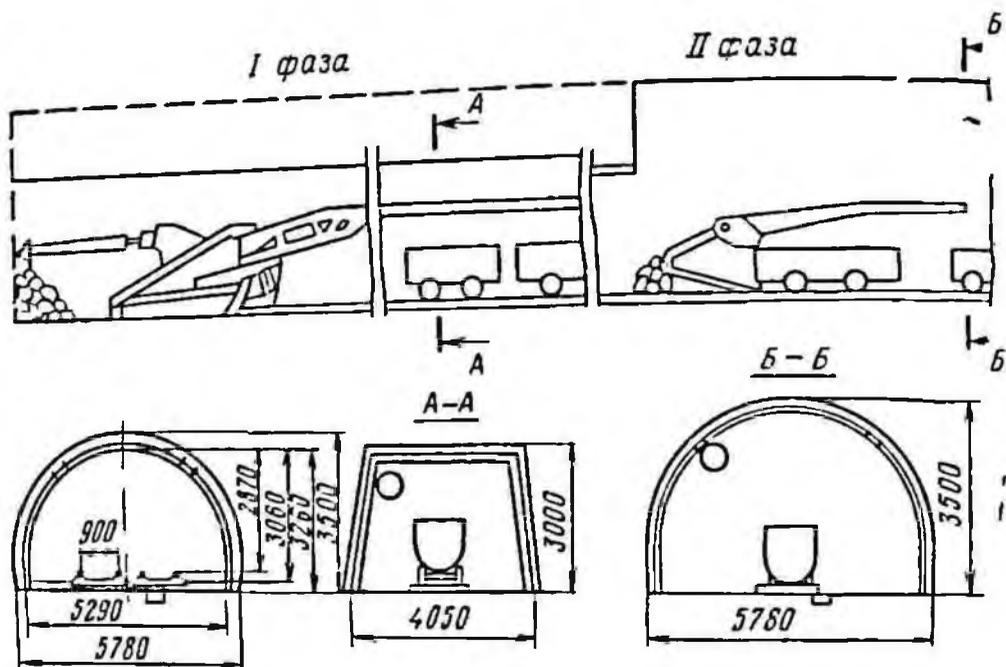


Рис. 2.23. Технологическая схема проведения двухпутного главного (магистрального) вентиляционного штрека с направляющим (опережающим) штреком

Технологическая схема проведения смешанным забоем главного (магистрального) вентиляционного штрека с обратным сводом при площади поперечного сечения  $12,9 \text{ м}^2$  в свету ( $21 \text{ м}^2$  в проходке), разработанная ВНИИОМШС для условий шахт Подмосквовного бассейна, приведена на рис. 2.24.

Работы по проведению штрека выполняются в три фазы: сначала проводится опережающий (направляющий) штрек на необходимую длину, затем пройденная часть выработки расширяется, после чего устраивается обратный свод с доведением размеров поперечного сечения до проектных значений.

При выполнении первой фазы комбайном ПК-3Р проводится направляющий (опережающий) штрек трапециевидной формы поперечного сечения площадью  $11,2 \text{ м}^2$  в проходке, который крепится тремя деревянными рамами на метр. Отбитую породу грузят в вагонетки УВГ-2,5, которые обменивают с помощью электровоза.

Звено из пяти проходчиков обеспечивает подвигание забоя за смену на 2,4 м.

Во вторую фазу расширяют сечение опережающего штрека за счет выемки породы в его кровле и боках. Общая площадь расширения составляет  $9,8 \text{ м}^2$  в проходке. Отбойка породы ведется отбойными молотками, погрузка отбитой горной массы — погрузочной машиной. Штрек крепят металлической арочной крепью из спецпрофиля СВП-27 при плотности установки две

## I фаза

Процессы	Объем работ	Продолжительность, мин	Трудоёмкость, чел-мин	I смена						
				6	7	8	9	10	11	
Подготовительно-заключительные операции	—	20	100							
Работа комбайна	27,5 м <sup>3</sup>	120	120							
Обслуживание состава при погрузке	27,5 м <sup>3</sup>	120	120							
Зачистка почвы штрека за комбайном	—	120	120							
Подготовка элементов крепи	7 рам	120	240							
Обмен вагонеток	10 ваг.	60	120							
Крепление	7 рам	180	540							
Наращивание коммуникаций	2,4 м	35	175							
Доставка и разгрузка материалов	—	120	240							
Регламентированный перерыв	—	15	75							

## II фаза

Процессы	Объем работ	Продолжительность, мин	Трудоёмкость, чел-мин	I смена						
				6	7	8	9	10	11	
Подготовительно-заключительные операции	—	10	60							
Установка двухстороннего подхвата	2 м	10	60							
Снятие двухстороннего подхвата	2 м	—	—							
Снятие деревянной крепи	3 рамы	20	120							
Разработка породы в кровле	2,5 м <sup>3</sup>	70	420							
Разработка породы в боках	3,4 м <sup>3</sup>	—	—							
Погрузка породы машиной	5,9 м <sup>3</sup>	50	300							
Подкидка породы вручную	1,5 м <sup>3</sup>	—	—							
Крепление	2 рамы	150	—							
Устройство водоотливной канавки	1 м	20	60							
Укладка рельсового пути	1 м	10	30							

рамы на метр. Звено в составе 6 проходчиков осуществляет в течение смены подвигание забоя на 1 м.

На третьей фазе ведут работы по устройству обратного свода: снимают временный рельсовый путь, устанавливают нижние элементы рамы, формируют дренажную канаву, подсыпают балласт и настилают постоянный рельсовый путь.

По мере подвигания забоя с целью осушения вышележащих обводненных пород с интервалом 10 м устанавливают фильтры. Время и расстояние, на котором друг от друга выполняются отдельные фазы проведения штрека по данной технологической схеме, определяются в зависимости от конкретной гидрогеологической обстановки.

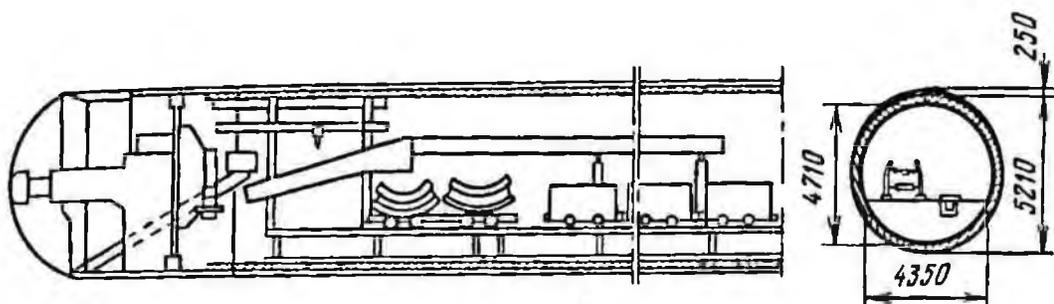
Месячная скорость проведения выработки с применением такой технологической схемы составляет 50 м, производительность труда проходчика — 0,08 м/чел-смен (1,11 м<sup>3</sup>/чел-смен), трудоемкость работ — 0,89 чел-смен/м<sup>3</sup>, затраты на 1 м штрека — примерно 530 руб.

Технологическая схема и график организации работ по проведению главного (магистрального) штрека щитовым проходческим комплексом КЩ-5,2Б приведены на рис. 2.25. Площадь поперечного сечения выработки в проходке составляет 21,9 м<sup>2</sup>, в свету — 13,1 м<sup>2</sup>.

Проходческий цикл начинается с обработки забоя рабочим органом щита на принятую в соответствии с технологическим паспортом длину заходки. Отбитая горная масса погрузочным органом щита подается на систему передаточных конвейеров и грузится в вагонетки. Одновременно ведется разгрузка блоков крепи с блоковозок на рольганг. После окончания отбойки породы на длину заходки (до 1 м) рабочий орган щита убирается в исходное положение и корпус щита с помощью гидродомкратов передвигается к забою. Перед передвижкой производится контроль направления штрека и в случае необходимости осуществляется корректировка передвижения щита в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В это же время с помощью блокоукладчика за щитом собирается очередное кольцо крепи, состоящее из шести блоков. Блоки в кольце сопрягаются по кривым поверхностям одного и того же радиуса. Соединение устанавливаемого кольца с ранее установленным осуществляется за счет имеющихся на торцовых поверхностях блоков выступов.

После установки кольца крепи производится тампонаж закрепленного пространства в районе третьего от юбки щита кольца. Затирка швов осуществляется за технологической платформой в районе выдвигного звена рельсового пути.

Шпалы под выдвигное звено рельсов устанавливаются на всю ширину штрека длиной 4,2 м без подсыпки под них балласта. Далее рельсовый путь из рельсов Р-24 настилают на



Процессы	Объем работ	Продолжительность, мин	Трудоемкость, чел-мин	Часы смены						
				6	7	8	9	10	11	
Подготовительные операции	—	10	60							
Работа щитового комплекса	1 м	80	160							
Обслуживание погрузки	21,3 м <sup>3</sup>	80	160							
Подкатка блоковок	2	35	70							
Передвижка блокоукладчика	1 м	45	90							
Возведение крепи эректором	1 м	60	180							
Передвижка комплекса	1 м	40	80							
Тампонаж закрепного пространства	0,8 м <sup>3</sup>	40	80							
Откачка воды	1,5 м <sup>3</sup>	—	—							
Наращивание коммуникаций	1 м	40	160							
Регламентированный перерыв	—	20	120							

Рис. 2.25. Технологическая схема проведения сплошным забоем главного (магистрального) штрека с помощью щитового комплекса КЩ-5,2Б

шпалы, уложенные на слой балласта. При этом настилают два рельсовых пути, на одном из которых концентрируются блоковок, а на другом — порожние вагонетки. Откачка транспортных сосудов производится электровозами.

В течение смены звено из 6 чел. проводит 2 м выработки. Месячная скорость проведения выработки при трехсменном режиме работы забоя составляет 150 м, производительность труда проходчиков — 0,33 м/чел-смену (3,27 м<sup>3</sup>/чел-смену). Уро-

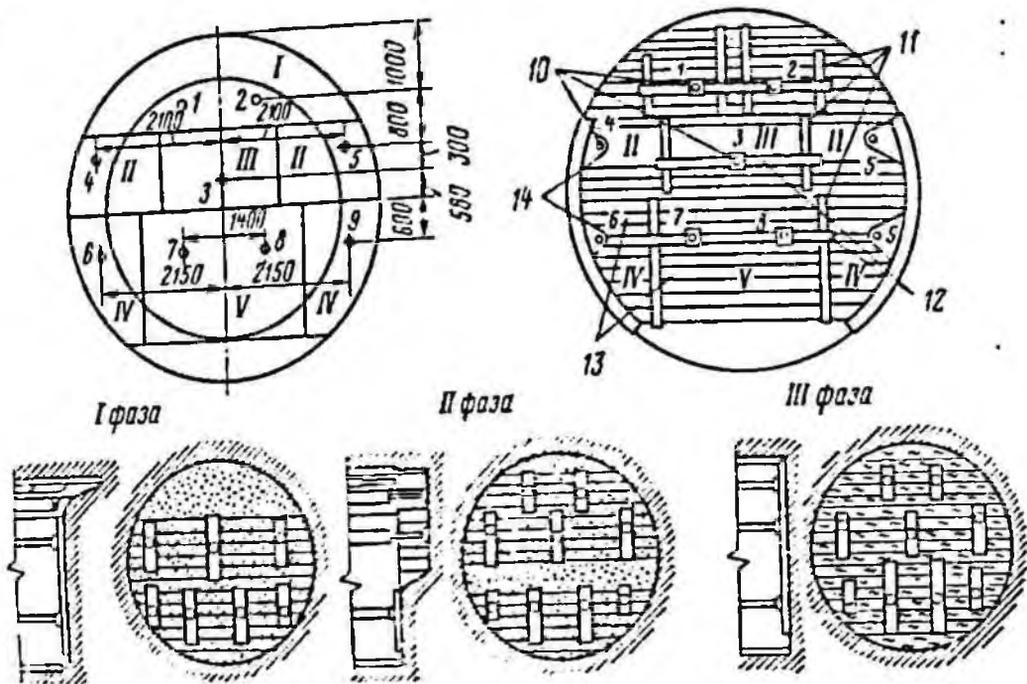


Рис. 2.26. Схема разработки забоя с помощью проходческого щита при проведении главного (магистрального) штрека по обводненным песчаным породам: 1—V — порядковые номера участков и последовательность их разработки; 1—9 — порядковые номера гидродомкратов для удержания забоя и схема их размещения; 10 — домкраты забойные; 11 — подхваты; 12 — опорный брус; 13 — затяжка забоя; 14 — затяжка боков

вень механизации процессов проходческого цикла при механизированной разработке забоя достигает 70—75%. Затраты на проведение 1 м выработки, согласно расчетам ВНИИОМШС, не превышают 800 руб.

При наличии неустойчивых обводненных пород, когда разрушение пород забоя рабочим органом щита невозможно, поскольку для удержания забоя необходимы специальные устройства, разработка забоя осуществляется отдельными участками, как показано на рис. 2.26.

Участки забоя разрабатывают с помощью отбойных молотков и ручного инструмента с последующим их креплением. Для удержания неустойчивых пород кровли устанавливают опережающую крепь. При проведении выработки по обводненным песчаным породам используют средства забойного водопонижения (вакуумные установки) и водоотлива (винтовые и диафрагменные насосы).

Все остальные процессы и операции проходческого цикла выполняются аналогично технологической схеме с механизированной разработкой забоя.

При применении комплекса КЩ-5,2 Б в таких условиях на шахте «Никулинская» Подмосковского бассейна скорость проходки колеблется от 0,5 до 1,7 м/сут. Среднемесячная скорость

подвигания забоя составила 35,7 м, максимально достигнутая — 72 м, производительность труда 0,17 м/чел-смену (3,7 м<sup>3</sup>/чел-смену). Уровень механизации работ 40—45%.

Выработки большого поперечного сечения в неустойчивых породах, особенно при наличии осушенных цементированных песков, проводят ступенчатым забоем. При этом сначала вынимают породу из верхней части поперечного сечения. Длина заходки определяется устойчивостью пород кровли и не превышает 1 м. Высота верхней части заходки выбирается исходя из удобства нахождения в ней людей и составляет 1,5—2 м.

Разработка забоя производится отбойными молотками с отгрузкой отбитой горной массы вручную. Погрузка породы в вагонетки осуществляется с почвы выработки погрузочной машиной или вручную. Выемка породы из верхней части поперечного сечения начинается с образования врубовой щели шириной 0,8—1 м, после чего производится переборка кровли досками. Далее забой разрабатывается с одновременной отгрузкой породы и переборкой боковых участков верхней части сечения.

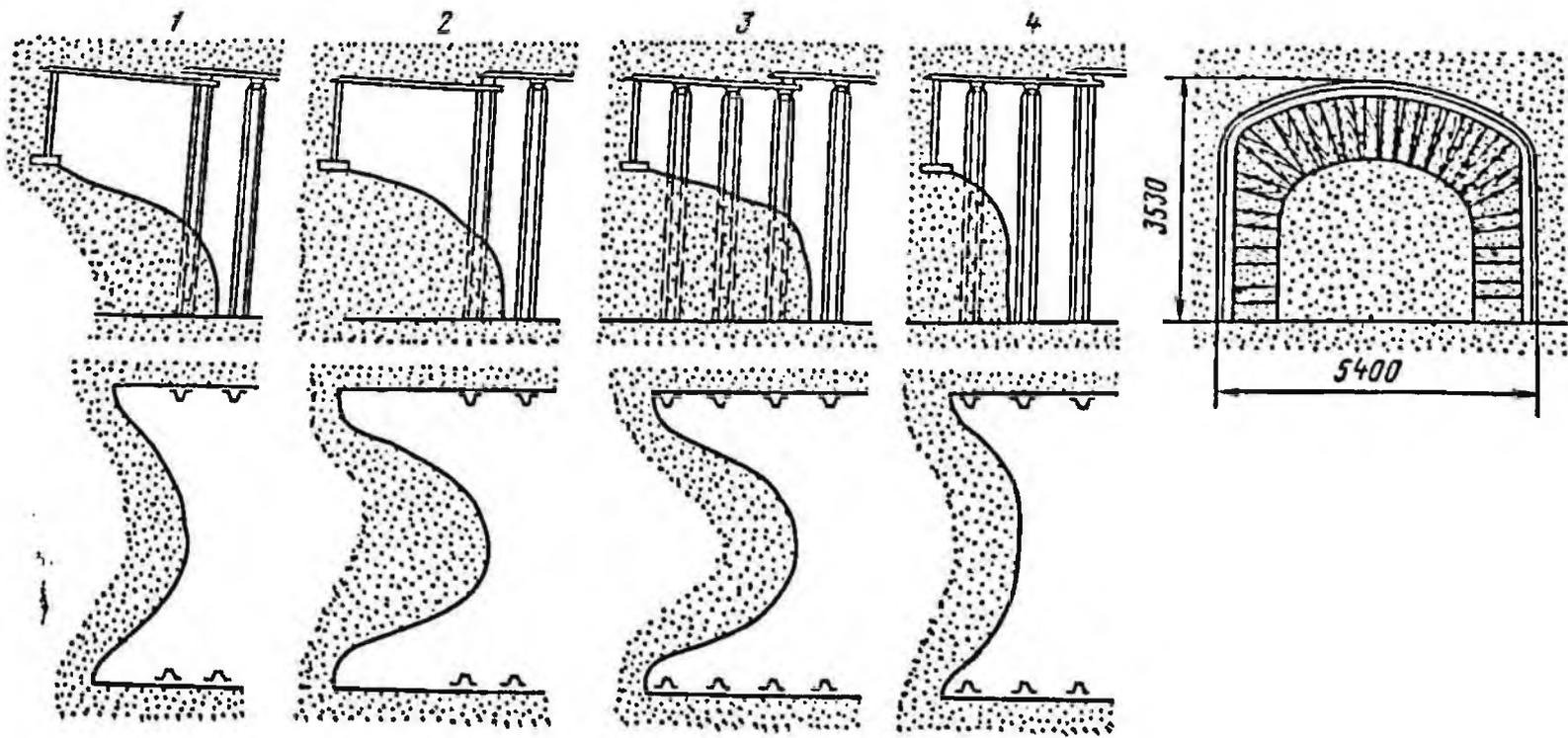
Ширина боковых заходок, разрабатываемых одновременно, принимается из расчета удобства размещения в них людей и возможности выполнения работ по отбойке и отгрузке горной массы. При необходимости удержания боков выработки устанавливаются доски в направлении сверху вниз.

После выполнения работ по окончательному оформлению контура поперечного сечения выработки начинается крепление. При этом сначала устанавливают первую к забою раму с возведением железобетонной затяжки, затем промежуточную. Оставшуюся часть поперечного сечения, называемую опорным уступом и предназначенную для удержания забоя от обрушения, разрабатывают в последнюю очередь. При этом сохраняется ее отставание от передовой части забоя на 2—3 цикла.

Процесс проведения выработки включает настилку временного рельсового пути, обмен груженных вагонеток на порожние, доставку и разгрузку материалов, а также другие вспомогательные операции.

В зависимости от назначения, срока службы выработки, а также при наличии значительного горного давления на некотором расстоянии от забоя ведутся работы по возведению крепи из сплошного бетона с применением бетоноукладчиков, передвижной металлической опалубки и других машин, осуществляются устройство дренажной канавы, настилка постоянного рельсового пути и другие работы.

На рис. 2.27 приведены технологическая схема и график организации работ по проведению ступенчатым забоем магистрального вентиляционного штрека площадью поперечного сечения в проходке 18,8 м<sup>2</sup>. Графиком организации работ предусматривается выполнение одного цикла в течение суток.



Процессы	Объем работ	Продолжительность, ч	I смена					II смена					III смена											
			9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	
Подготовительно-заключительные операции	—	1																						
Разработка кровли, установка переборки	4 м <sup>3</sup>	6,7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Разработка боков, установка переборки	4 м <sup>3</sup>	6,7																						
Крепление	2 рамы	3																						
Разработка уступа	14 м <sup>3</sup>	5																						
Погрузка массы, зачистка штрека	22 м <sup>3</sup>	16	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Откатка груза	10 ваг.	2,6																						

Рис. 2.27. Технологическая схема проведения ступенчатым забоем главного (магистрального) вентиляционного штрека:

1 — с отработкой кровли и установкой переборки; 2 — с отработкой боков и установкой переборки; 3 — с установкой постоянной крепи; 4 — с отработкой опорного уступа

Месячная скорость проведения выработки достигает 20—30 м. Трудоемкость проведения 1 м штрека 24,5 чел-смены, производительность труда проходчика 0,07 м/чел-смену. Затраты на проведение 1 м выработки 1080 руб.

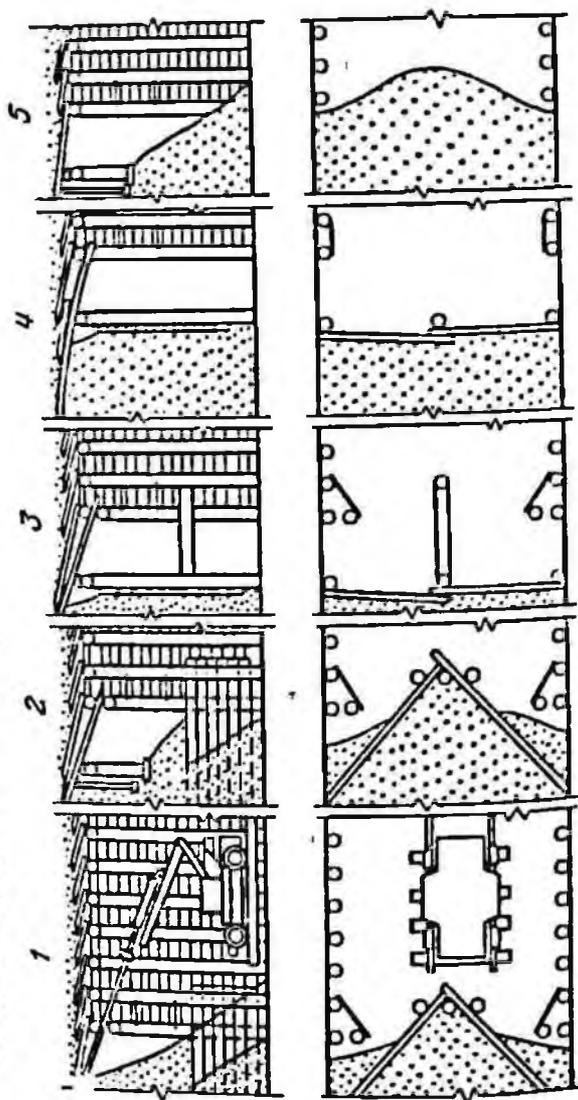
При проведении сложных участков штреков в неустойчивых породах, представленных обводненными песками, слежавшимся водоносным гравием или лёссом, когда кровля и бока выработки в призабойной зоне не могут даже на короткий срок оставаться незакрепленными, применяют опережающую (забивную) крепь в качестве временной. Для нее используют доски толщиной 50—60 мм, шириной 150—200 мм и длиной не более 2—3 м. Концы досок с одной стороны заостряют.

На рис. 2.28 приведены технологическая схема и график организации работ по проведению сложного участка однопутного штрека площадью поперечного сечения в проходке 10 м<sup>2</sup> (в свету 8,2 м<sup>2</sup>).

Отбойка породы производится отбойными молотками или ручным инструментом, погрузка горной массы в вагонетки — машиной «Штрек», созданной в ПНИУИ. Для выполнения работ по осушению могут быть использованы установки вакуумирования типа УВЗ, КСВ и др.

Рис. 2.28. Технологическая схема проведения однопутного главного (магистрального) штрека по неустойчивым песчаным породам с применением опережающей (забивной) крепи:

1 — с возведением опережающей крепи первого цикла; 2 — с подведением верхних; 3 — с установкой призабойной рамы и затяжкой забоя; 4 — с возведением опережающей крепи второго цикла; 5 — с установкой промежуточной рамы





К началу работ забой выработки полностью закреплен и у него установлена основная (посадная) рама, под верхняк которой подбиты две стойки. Работы начинают с задавливания опережающей крепи («посада») в кровлю и бока верхней части выработки машиной «Штрек», на стреле которой установлено специальное устройство. При этом доски вставляют в паз, образованный между верхняком посадной рамы и брусом, на котором лежат концы досок крепи предыдущей заходки. После возведения «посада» приступают к отбойке породы с переборкой забоя досками, а также к погрузке горной массы машиной «Штрек», на стреле которой закрепляют погрузочный ковш или грейфер. Затем с помощью машины поднимают и устанавливают верхняк следующей основной крепежной рамы, который опирается на массив породы деревянными подпорками.

Над верхняком под забитые доски подводят брус, после чего забивают клинья между подхватывающим брусом и верхняком. На этом работы первой фазы проведения выработки заканчиваются.

Вторая фаза включает забивку передовой (опережающей) крепи, отбойку и погрузку породы в боковых заходках сечения с оставлением опорного уступа. Эти работы выполняют в направлении от кровли к почве выработки. Выемку породы осуществляют одновременно с обеих сторон поперечного сечения, после чего устанавливают стойки основной рамы. Для задавливания досок очередной заходки оставляют зазор. После установки постоянной крепи обрабатывают опорный уступ с одновременной установкой затяжки по площади сечения. Под установленную раму подводят временные стойки, а из-под предыдущей рамы их удаляют. Далее устанавливают промежуточную раму в ранее пройденной заходке.

Затем цикл работ повторяется. При выполнении процессов и операций проходческого цикла оператор дистанционно управляет машиной «Штрек», а его помощник занят выполнением вспомогательных операций.

Доставка материалов в забой осуществляется один раз в сутки. Графиком организации работ по данной технологии предусматривается выполнение одного полного цикла в сутки с продвижением забоя на 1,2 м при трехсменном режиме работы. Форма организации труда проходчиков — суточная комплексная бригада. Производительность труда проходчика 0,2 м/чел-смену, трудоемкость проведения 1 м<sup>3</sup> выработки в свету 0,1 чел-смены. Месячная скорость проведения штрека при непрерывной рабочей неделе 35 м. Уровень механизации работ 20%. Затраты на проведение 1 м штрека около 260 руб.

Проведение главных (магистральных) штреков на шахтах Подмосквового бассейна по неустойчивым породам, прежде всего пльвунам, осуществляется по технологическим схемам,

предусматривающим применение специальных способов стабилизации неустойчивых пород.

**Технологические схемы проведения выемочных штреков, нарезных и прочих выработок.** Проведение выемочных штреков на шахтах Подмосковного бассейна осуществляется комбайнами легкого типа в сочетании с рельсовым локомотивным транспортом (электровозом или самоходным проходческим составом), с рельсовым транспортом лебедками с концевым канатом и с ленточным телескопическим конвейером ЛТС конструкции ПНИУИ.

Наиболее широко здесь применяется технологическая схема проведения выемочных штреков комбайном ПК-3Р в сочетании с локомотивным транспортом (рис. 2.29). Горная масса транспортируется четырьмя вагонетками УВГ-2,5. Обмен вагонеток и доставка материалов в забой производится электровозом типа 10КР или К10. В качестве постоянной крепи принята деревянная трапециевидная крепь, плотность установки две рамы на метр.

Проведение штрека в течение смены осуществляется в соответствии с приведенным на рис. 2.29 графиком организации работ. Форма организации труда проходчиков — суточная комплексная бригада. Звено из шести проходчиков за семичасовую смену обеспечивает подвигание забоя на 5 м. Месячная скорость проведения штрека 350 м, производительность труда проходчика 0,83 м/чел-смену, рабочего по забою 0,7 м/чел-смену, трудоемкость проведения 1 м<sup>3</sup> выработки в свету 0,17 чел-смены.

Проведение выемочного штрека площадью поперечного сечения в проходке 8 м<sup>2</sup> (в свету 6,2 м<sup>2</sup>) по угольному пласту с углом наклона более 3° осуществляется по технологической схеме, предусматривающей использование в качестве транспорта лебедок с концевым канатом (рис. 2.30). Число лебедок в штреке зависит от числа участков с пониженными отметками. Для установки лебедок в штреке оборудуют специальные горизонтальные участки.

Пройденные выработки закрепляют трапециевидной металлической или деревянной крепью незамкнутого контура, плотность установки две рамы на метр. При большой протяженности штрека (800—1000 м) с целью ускорения обмена груженых вагонеток на порожние в проводимой выработке на расстоянии 400—500 м от забоя оборудуют разминовку длиной 20—25 м, на которой могут разместиться два состава вагонеток.

Работы по данной технологической схеме организуются следующим образом. Перед началом смены все члены звена в течение 15 мин выполняют подготовительные операции, двое из них доставляют под перегружатель комбайна партию порожних вагонеток, достаточную для обеспечения подвигания забоя

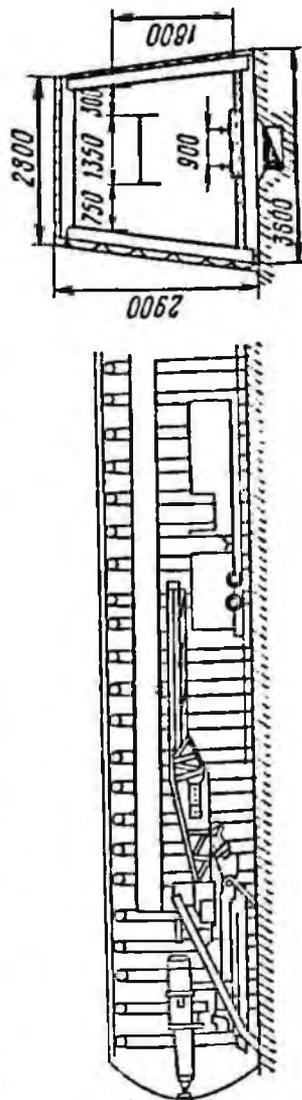
на длину заходки 0,5 м. Затем начинает работу проходческий комбайн, во время которой один из проходчиков зачищает почву выработки, а другой следит за погрузкой и подает сигналы проходчику, находящемуся у лебедки, на перемещение вагонеток под перегружателем комбайна. Двое проходчиков заготавливают, подносят элементы крепи. После загрузки партии вагонеток все находящиеся в забое проходчики заняты креплением. После установки рамы крепи они наращивают временный рельсовый путь. По мере подвигания забоя настилают постоянный рельсовый путь.

Сменное звено в составе семи проходчиков, из которых четверо постоянно заняты транспортированием грузов и доставкой материалов, за семичасовую смену обеспечивает подвигание забоя на 4 м. Месячная скорость подвигания штрека при трехсменном режиме работы около 250 м, производительность труда проходчика 0,59 м/чел-смену, трудоемкость 1 м<sup>3</sup> выработки в свету 0,3 чел/смены.

В настоящее время на шахтах бассейна широко применяется технологическая схема проведения выемочных штреков с использованием конвейеров ЛТС (рис. 2.31). Эта технология обеспечивает высокую производительность труда при доставке горной массы из забоя, минимальные продолжительность и трудоемкость работ на транспорте, низкий уровень ручного труда. Технологическая схема предусматривает оставление конвейера после проведения штрека на полную проектную длину для транспортирования угля, материалов и оборудования при отработке выемочного столба. Это позволяет исключить работы по монтажу конвейерного штрека и сократить сроки подготовки выемочного столба к отработке на 1,5—2 мес.

Характерной особенностью данной технологии является одновременное использование в одном штреке трех видов транспорта: рельсового (электровоз или лебедка) при проведении необходимого для мон-

Рис. 2.29. Технологическая схема проведения выемочного штрека с помощью комбайна в сочетании с электровозным транспортом



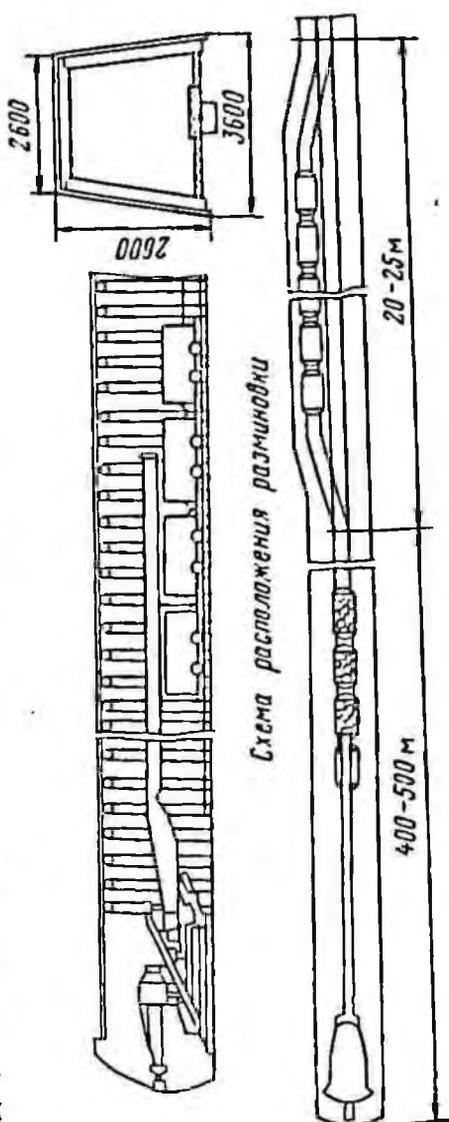


тажа конвейера начального участка штрека на длину 100—150 м и для доставки материалов и оборудования с магистрального штрека до сбрасывающей головки конвейера; канатной дороги с приводной и грузовыми тележками для доставки материалов и оборудования от сбрасывающей головки конвейера в забой; конвейерного для транспортирования угля и породы из забоя. Работа каждого из перечисленных выше видов транспорта осуществляется независимо друг от друга и при необходимости их работа совмещается во времени.

Горная масса с перегружателя комбайна подается на ленту конвейера и транспортируется до перегрузочного пункта, выполненного в виде приемного бункера различной вместимости. Из последнего горная масса поступает на расположенный под ним магистральный конвейер, как это показано на рис. 2.31, или в вагонетки, установленные под бункером на откаточном штреке. При наличии магистрального конвейера выходная точка бункера оборудуется перекидным затвором, предназначенным для изменения направления погрузки угля на магистральный конвейер, а направления погрузки породы — в вагонетки, которые установлены на рельсовом пути рядом с конвейером.

К расположенному возле сбрасывающей головки конвейера стационарному перегрузочному пункту материалы доставляются рельсовым транспортом с магистрального конвейерного или вентиляционного штрека. Этот пункт оборудуется средствами механизации разгрузочно-погрузочных работ (тельфером, монорельсовой дорогой и

Рис. 2.30. Технологическая схема проведения высокогорного штрека с помощью комбайна в сочетании с транспортированием грузов лебедками





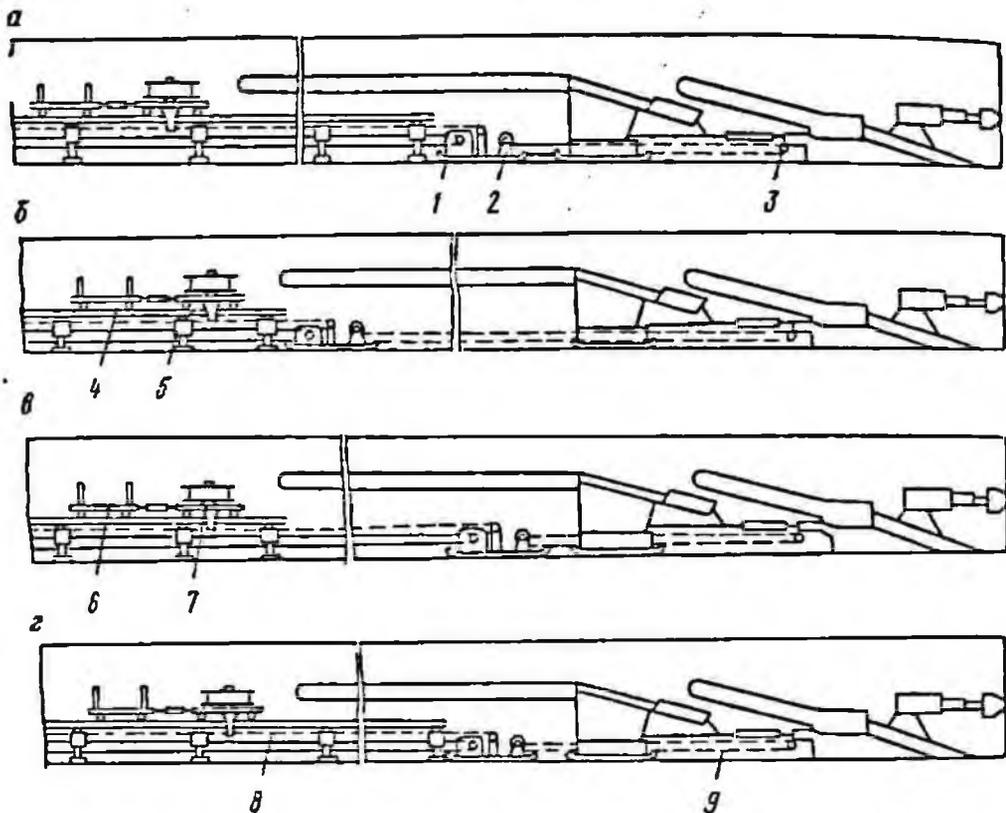


Рис. 232. Последовательность выполнения операций по удлинению конвейера ЛТС:

а — положение конвейера и комбайна перед началом работ по проведению выработки;  
 б — то же перед началом работ по удлинению конвейера; в — передвижка концевой секции конвейера; г — наращивание линейных секций конвейера и установка опорных стоек с роликоопорами; 1 — концевая секция; 2 — лебедка передвижения концевой секции; 3 — концевой блок лебедки; 4 — секция линейная; 5 — стойка опорная с роликоопорой; 6 — тележка грузовая; 7 — тележка приводная; 8 — канат тяговый грузовой дороги; 9 — канат тяговый лебедки передвижения концевой секции

тельные операции. Затем машинист комбайна дает команду на включение конвейера и включает комбайн. Зарубка комбайна производится в нижней (породной) части забоя на глубину 40—50 см. Горизонтальными проходами коронки рабочего органа комбайна осуществляется выемка сначала породной, затем угольной части забоя с погрузкой отбитой горной массы на конвейер.

После оформления забоя на величину допустимого отхода машинист отгоняет комбайн на 1,5—2 м для возведения постоянной крепи. Крепление производится в направлении от ранее установленной крепи к забою с установкой двух рам. Затем комбайн продолжает работу в той же последовательности и цикл повторяется. Во время работы комбайна проходчики зачищают штрек, следят за подвесками ленточного перегружателя и погрузкой горной массы на конвейер, разгружают платформы грузового состава и подносят элементы крепи. После полной разгрузки грузовой состав отправляется из забоя за очередной партией элементов

крепи. Все работы в забое выполняются в течение смены тремя проходчиками. Продолжительность одного рейса грузового состава зависит от скорости его движения и длины пройденного участка штрека. Количество перевозимых за один рейс элементов крепи выбирается из условия обеспечения под забоем неснижаемого запаса крепи для безостановочного проведения выработки.

Дистанционное управление конвейером и грузовой дорогой, конструктивное исполнение опорных роликов грузового состава, исключаящее его сход с направляющих, освобождают проходчиков от участия в транспортных операциях. Их работа ограничивается выполнением погрузочно-разгрузочных работ в конечных пунктах доставки. Одновременно с работами в забое на специально оборудованном пункте, расположенном у сбрасывающей головки конвейера, двое проходчиков заготавливают элементы крепи.

Форма организации труда проходчиков — суточная комплексная бригада, выполняющая все основные процессы. При трехсменном режиме работы и продолжительности смены 7 ч звено в составе пяти проходчиков выполняет 10 полных циклов. Среднесменное подвигание забоя составляет 7 м, среднесуточное — 21 м.

При непрерывном режиме работы забоя в течение рабочей недели технико-экономические показатели проведения штрека с применением конвейера ЛТС следующие:

Скорость проведения штрека, м/мес . . .	630
Трудоемкость, чел-смен/м:	
наращивания става конвейера . . . . .	0,1
удлинения ленты . . . . .	0,044
проведения выработки . . . . .	2,3
Производительность труда, м/чел-смен:	
проходчика . . . . .	1,4
рабочего по забою . . . . .	1,1

Проведение северных конвейерных штреков 20-бис и 24-бис на шахте «Владимировская» с применением конвейера показало, что предусмотренные технологической схемой технико-экономические показатели вполне достижимы.

Проведение прочих горных выработок (камер, сбоек, заездов, рассечек и т. д.) на шахтах бассейна осуществляется с применением приведенных выше технологических схем и средств. При этом учитываются горнотехнические особенности выполнения работ (небольшая длина, малые объемы и т. д.).

На рис. 2.33 приведена технологическая схема проведения уступным забоем монтажной камеры площадью поперечного сечения в проходке 12 м<sup>2</sup> (в свету 9,8 м<sup>2</sup>) и крепления ее. К началу работ по выемке угля комбайном полностью должно быть закончено возведение постоянной крепи на предыдущей заходке, а три последних рамы, установленных в уступе, расшиты скобами или досками. Крепь ранее пройденной выработки усиливается

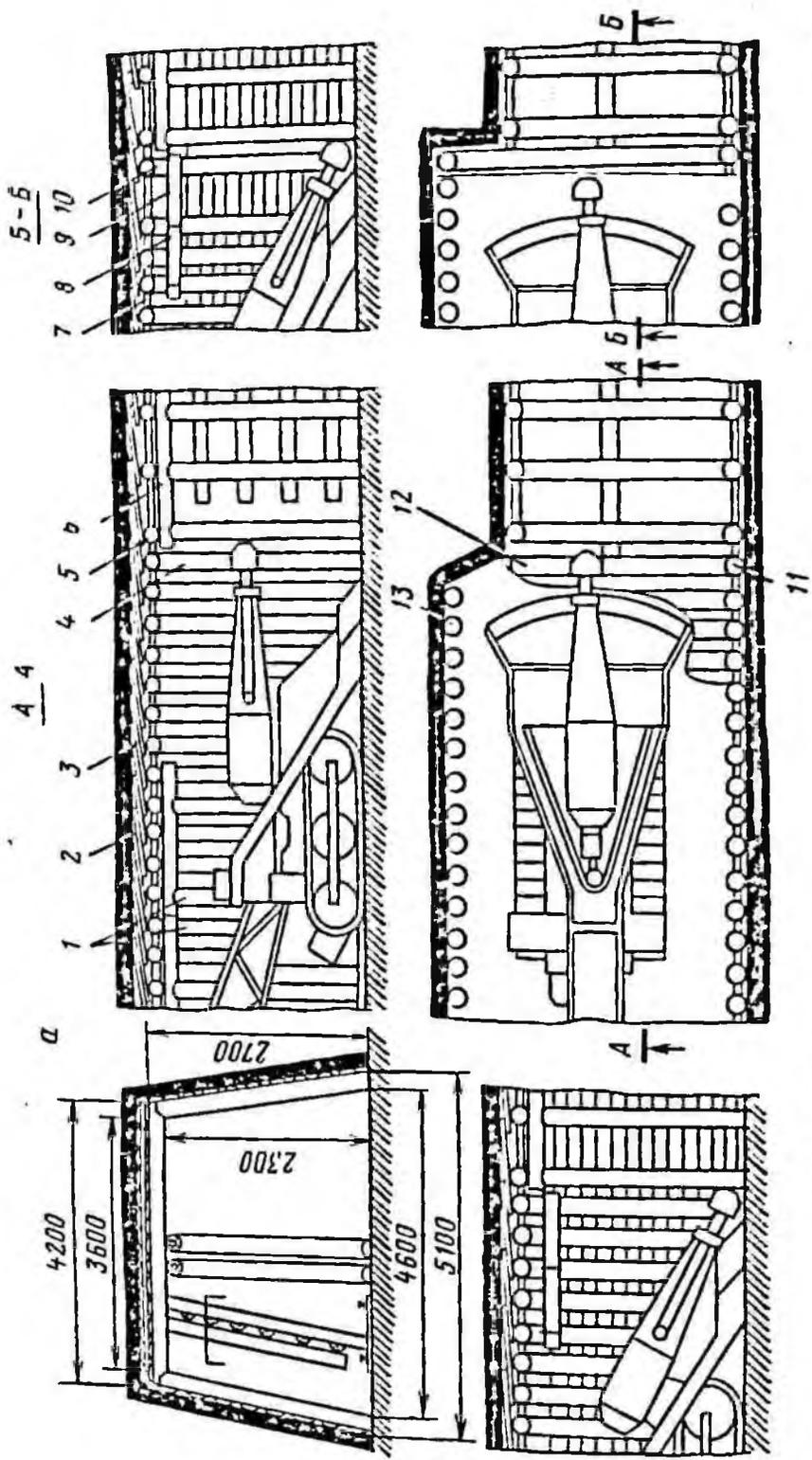


Рис. 2.33. Технологическая схема проведения уступным забоем моптажной камеры при боковом расположении уступа:

а — с удалением стоек крепи расширяемой выработки и отработкой уступа; б — с удалением верхняка расширяемой выработки и возведением призабойной рамы; в — с уступкой прожегочной рамы; 1 — лямбус; 2 — лямбус; 3 — горбыль; 4, 11 — стойка; 5, 12 — верхняк; 6 — вандрут; 7 — распорка; 8 — скоба; 9 — доска; 10 — призабойная рама; 13 — промежуточная рама

путем установки среднего вандрута на расстоянии не менее 10 м от забоя.

Перед началом работ со стороны уступа удаляют стойку рамы расширяемой выработки. Обработку забоя производят проходками коронки рабочего органа комбайна в направлении сверху вниз на величину заходки не более 0,7 м. Затем удаляют короткий верхняк и вторую стойку старой рамы, обрезают вандрут, готовят лунки, устанавливают стойки призабойной рамы новой деревянной крепи. Эти стойки удерживаются в нужном положении досками, пропущенными через скобы, которые забиты в стойки ранее установленной рамы. На стойки заводят верхняк, проверяют правильность установки рамы, которая расклинивается в замках. Кровлю выработки затягивают горбылем сплошную, бока — вразбежку. На верхняк рамы укладывают поясok. Затем устанавливают промежуточную раму. Между рамами забивают распорки из тонкого леса или распила. Рамная крепь камеры усиливается спаренными вандрутами, устанавливаемыми со смещением на половину длины верхняка на лежнях с отставанием от забоя не более 15 м. При плотности установки три рамы неполного дверного оклада на метр расход лесных материалов составляет 1,3 м<sup>3</sup>.

На рис. 2.34 приведена разработанная ВНИИОМШС технологическая схема проведения сбойки площадью поперечного сечения в проходке 9,4 м<sup>2</sup> (в свету 6,8 м<sup>2</sup>) смешанным забоем с помощью отбойных молотков.

Крепление выработки производится металлической арочной крепью из спецпрофиля СВП-27, плотность установки две рамы на метр.

Обмен вагонеток под перегружателем погрузочной машины осуществляется с помощью маневровой лебедки. Забой обрабатывается одновременно двумя проходчиками. По мере накопления отбитая горная масса грузится погрузочной машиной в вагонетки. После выемки породы на длину заходки 0,5 м устанавливают раму постоянной крепи. Затем цикл повторяется. Сменное звено из пяти проходчиков проходит 0,9 м выработки в течение семичасовой смены. Месячная скорость проведения выработки составляет 90 м при трехсменном режиме работы, производительность труда проходчика — 0,18 м/чел-смену. Трудоемкость проведения на 1 м<sup>3</sup> выработки в свету 0,82 чел-смены. Затраты на проведение 1 м готовой выработки 211,5 руб.

Технологические схемы проведения выработок с выполнением работ по осушению. Наличие остаточных после выполнения работ по предварительному (с поверхности) осушению напоров воды приводит к внезапным ее прорывам в проводимые выработки с выносом большого количества песка. Ликвидация последствий таких прорывов требует значительных дополнительных затрат трудовых и материальных ресурсов, а также вызывает оста-



новку работ по проведению подготовительных выработок на длительное время. Особенно велика опасность прорывов воды при отсутствии и ненадежности водоупоров (мощность менее 1 м) в кровле или почве горной выработки. С целью снижения до безопасных величин остаточных напоров воды, сокращения сроков осушения обводненных пород и повышения на этой основе темпов проведения выработок на шахтах Подмосковского бассейна выполняется значительный объем работ по подземному осушению.

Согласно требованиям Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах, а также Указаниям по обеспечению безопасного ведения работ на шахтах (разрезах) Подмосковского бассейна, проведение подготовительных выработок допускается только в тех случаях, когда уровень подугольных вод ниже почвы выработки на 1 м, за исключением участков с надежными водоупорами, а остаточный столб воды в кровле не превышает 10 м. Одним из эффективных способов своевременного снижения остаточных напоров воды до безопасной величины при достаточно высоких фильтрационных свойствах обводненных пород (не менее 1 м/сут) и предотвращения ее прорывов в процессе проведения подготовительных выработок является опережающее осушение водоносных горизонтов наклонными (опережающими забой) скважинами.

На основе обобщения практического опыта и результатов исследований ПНИУИ разработаны и внедрены на шахтах Подмосковского бассейна типовые технологические схемы проведения выработок с опережающим осушением в сложных гидрогеологических условиях, предложена методика расчета параметров осушения и проходки с учетом взаимной их увязки, созданы средства для реализации технологических схем, определены область и экономическая эффективность применения разработанной технологии [15]. Исследованиями установлено, что среднемесячная скорость проведения горной выработки с применением подземных дренажных устройств в общем виде описывается формулой

$$v_m = \frac{N v_{\text{сут}} (L_0 - L_3)}{v_{\text{сут}} (t_0 + t_c) + (L_0 - L_3)}, \quad (2.24)$$

где  $v_m$  — среднемесячная скорость проведения выработки, м;  $N$  — число рабочих дней в месяце;  $v_{\text{сут}}$  — скорость проведения горной выработки, соответствующая показателям одной из технологических схем, м/сут;  $L_0$  — длина участка со сниженными с помощью дренажных устройств напорами воды, м;  $L_3$  — расстояние от места сооружения дренажных устройств до забоя выработки, м (при сооружении дренажных устройств в забое  $L_3 = 0$ );  $t_0$  — время, отводимое на снижение напора воды в песках до допустимого предела подземными дренажными устройствами, сут (с учетом стабилизации уровня воды величина  $t_0$  должна быть не менее

0,3 сут);  $t_c$  — время, отводимое на сооружение подземных дренажных устройств, сут (для случая, когда роль дрены играет сама горная выработка,  $t_c = 0$ ).

Длина участков выработки со сниженными до допустимого предела напорами воды в песках, создаваемыми подземными дренажными устройствами, зависит от вида этих устройств и определяется по формулам:

для вертикальных дренажных устройств (забивных и сквозных фильтров, восстающих скважин и водопонижающих колодцев)

$$L_0 = R/\alpha; \quad (2.25)$$

для наклонных дренажных устройств (скважин)

$$L_0 = 2\sigma q, \quad (2.26)$$

где  $R$  — радиус влияния дренажного устройства, м;  $\alpha$  — показательная функция;  $2\sigma$  — расстояние между наклонными дренажными скважинами в линейном ряду (между точками их выхода на водоносный горизонт), м;  $q$  — число сооружаемых наклонных дренажных скважин.

Применительно к условиям Подмосковного бассейна, где над и подугольные пески имеют безнапорный или слабонапорный режим фильтрации, входящие в формулы (2.25) и (2.26) параметры определяются по следующим формулам:

$$R = \sqrt{\frac{2,6kt_0(2H - S)}{\mu(1 - \lg r)}}; \quad (2.27)$$

$$\lg \alpha = \frac{1,36(H - h_2)^2}{S(2H - S)}; \quad (2.28)$$

$$2\sigma = 3,2 \sqrt{\frac{kt_0(2H - S)}{\mu\alpha^2[0,5 + \lg \alpha(\sqrt{dl_\phi \cos \varphi})^{-1}]} }; \quad (2.29)$$

$$q = \frac{1}{\sigma} \sqrt[4]{\sigma^2 v_d^2 t_c^2 + 0,12h^4 - 0,5}, \quad (2.30)$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации песка, м/сут;  $H$  — напор воды на почву песка, м;  $S$  — понижение напора воды в дренажном устройстве, м;  $\mu$  — коэффициент водоотдачи песка, доли единицы;  $r$  — радиус фильтра вертикального дренажного устройства, м;  $h_2$  — допустимый напор воды в песках при проведении выработки, м;  $d$  и  $l_\phi$  — диаметр и длина фильтра наклонной скважины, м;  $\varphi$  — угол наклона скважины, градус;  $h$  — глубина залегания песка от кровли или почвы горной выработки, м;  $v_d$  — средняя скорость сооружения наклонных дренажных скважин, м/сут (для станка СБД-2  $v_d = 120$  м/сут, для станка ДС-4  $v_d = 48$  м/сут).

Значение показательной функции может быть также определено по графику, приведенному на рис. 2.35.

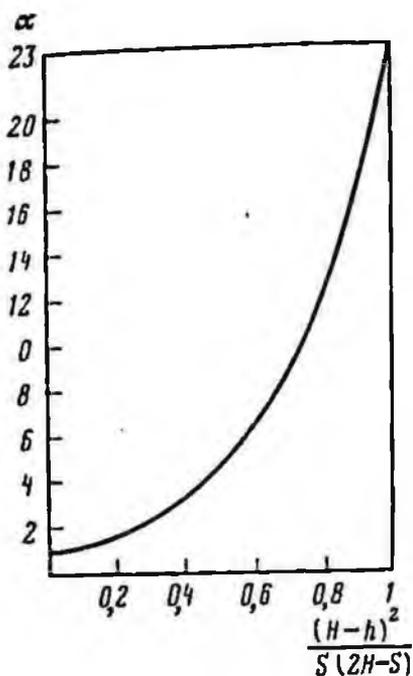


Рис. 2.35. График для определения показательной функции  $\alpha$

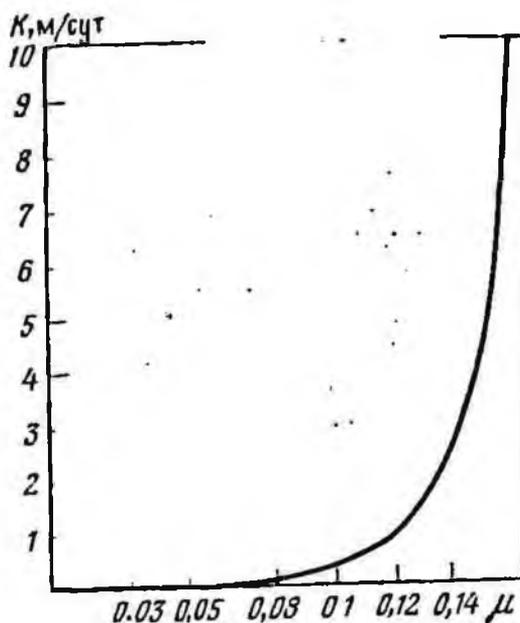


Рис. 2.36. График для определения коэффициента водоотдачи  $\mu$  по известному коэффициенту фильтрации  $k$

Коэффициенты фильтрации и водоотдачи водоносного горизонта определяются одним из известных способов (аналитическим, графоаналитическим и т. д.). Применительно к условиям шахт Подмосковского бассейна вполне удовлетворительные результаты получаются при расчете этих величин по формулам:

$$k = \frac{2Q}{S(2H-S)}; \quad (2.31)$$

$$\mu = 0,117 \sqrt[7]{k}, \quad (2.32)$$

где  $Q$  — начальный дебит дренажного устройства,  $\text{м}^3/\text{сут}$ .

При определении коэффициента фильтрации песков по формуле (2.31) учитывают все дренажные устройства, находящиеся в районе проведения горной выработки или на соседних с ней участках.

Значение коэффициента водоотдачи с достаточной для практики степенью точности также может быть определено по графику, приведенному на рис. 2.36.

В процессе проведения выработки с опережающим осушением по замерам напора и дебита воды в дренажных устройствах уточняются фильтрационные свойства и напоры воды в песках, корректируются расстояния между дренажными устройствами и их количество на осушаемом участке. В зависимости от этих по-

казателей уточняется среднемесячная скорость проведения выработки.

Для проведения подготовительных выработок с опережающим осушением разработано несколько технологических схем, которые отличаются друг от друга степенью совмещения работ по проходке и осушению, местом расположения бурового станка и заложения скважин.

В зависимости от конкретных условий станок для бурения скважин может располагаться:

в ранее проведенной параллельной выработке;

в нише или камере проводимой выработки;

в свободном проходе выработки, находящейся в проходке при достаточной ширине поперечного сечения;

на некотором расстоянии от забоя проводимой выработки (позади комбайна) при малой ширине поперечного сечения;

непосредственно под забоем проводимой выработки (впереди комбайна).

В зависимости от применяемой технологической схемы наклонные скважины могут быть заложены в сечении проводимой выработки или за пределами его при наличии ранее проведенной параллельной выработки либо ниши, камеры, уступов в кровле или боках проводимой выработки. Наклонные скважины при этом располагаются по одной из схем, приведенных на рис. 2.37.

Технико-экономические показатели проведения выработок в сложных гидрогеологических условиях с применением технологических схем, предусматривающих выполнение работ по опережающему осушению (рис. 2.38—2.40), приведены в табл. 2.5.

Необходимость и возможность применения той или иной технологической схемы зависят от гидрогеологических и горнотехнических условий проведения выработки, и даже в пределах одной выработки на отдельных ее участках могут применяться разные наиболее рациональные в данных условиях технологические схемы.

Технологическая схема, предусматривающая совмещение работ по проведению выработки и опережающему осушению, наиболее широко применяется при проведении выработок главных направлений. Так, на шахте «Подмосковная» эта схема применялась при проведении выработок восточного и северного крыльев шахтного поля. Гидрогеологическая обстановка в районе характеризовалась значительной обводненностью нижнетульских песков и наличием остаточных напоров до 15 м.

Для создания благоприятных условий при проведении 1-го, 3-го и 5-го восточных штреков, а в последующем 8-го, 10-го и 12-го северных штреков станком СБД-2М были пробурены 120 наклонных скважин длиной 30÷70 м. При этом бурились как одиночные скважины, так и целые кусты в виде веера. Бурение велось под углом наклона к горизонту 3—35°. При высоких коэф-

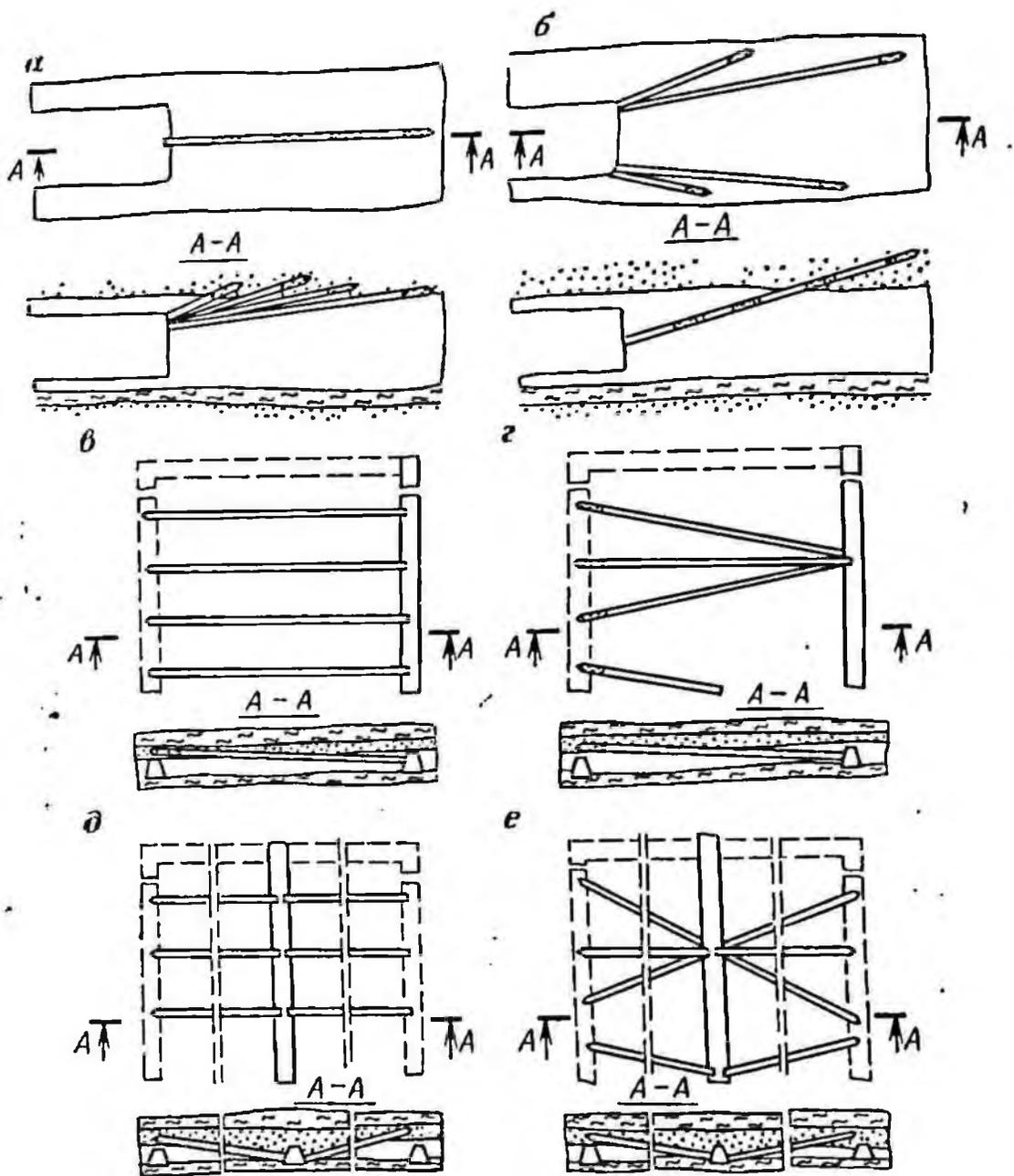


Рис. 2.37. Схемы расположения скважин при проведении выработок с опережающим осушением в сложных гидрогеологических условиях в один ряд по оси проводимой выработки (а), в два ряда в боках проводимой выработки (б), схема расположения одиночных скважин из проведенной выработки на ось параллельно проводимой (в), в виде куста из проведенной выработки на ось параллельно проводимой (г), схема расположения одиночных скважин из проведенной выработки на оси двух параллельно проводимых (д), в виде куста из проведенной выработки на оси двух параллельно проводимых (е)

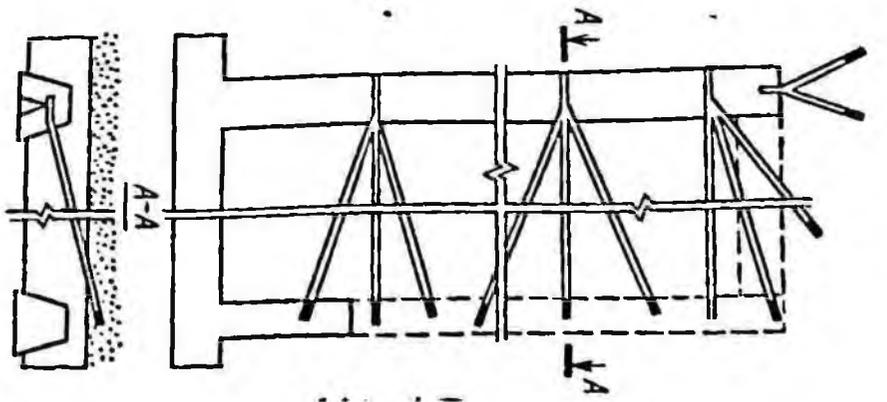


Рис. 238. Технологическая схема проведения выработки с одновременным выполнением работ по опережающему осушению при расположении бурового станка в лагерьно проведенной выработке

Вспомогательные	Проходческие	Осушительные	Работы	Процессы	Объем работ	Продолжительность, смены	Трудоемкость, чел-смен	Смены																			
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
Осмотр и ремонт оборудования	—	—	—	—	—	—	—	—																			
								Подготовка водосборника	1	2	4	—															
												Извлечение фильтров	3	1	2	—											
																Нарращивание коллектора, трубопровода	60 м	1	2	—							
Проведение выработки комбайном	60 м	9	45	—																							
				Демонтаж бурового станка	1	1	2	—																			
								Бурение скважин	300 м	7	14	—															
Монтаж бурового станка	1	1	2	—																							

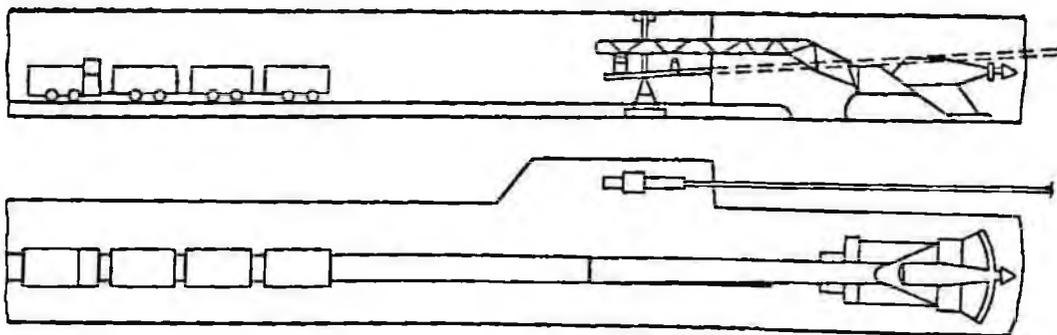


Рис. 239. Технологическая схема проведения выработки с одновременным выполнением работ по опережающему осушению при расположении бурового станка в нише проводимой выработки

Работы	Процессы	Объем работ	Продолжительность, смены	Трудоемкость, чел-смен	Смены																							
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Осушительные	Монтаж бурового станка	1	1	4	—																							
	Бурение скважин	350 м	16	32	—																							
	Демонтаж бурового станка	1	1	4	—																							
Проходческие	Проведение выработки комбайном	80 м	16	60	—																							
	Подготовка ниши комбайном	3 м	1	5	—																							
Вспомогательные	Нарращивание коллектора, переноска насоса	90 м	1	2	—																							
	Извлечение фильтров, труб	6	1	2	—																							
	Подготовка водосборника	1	2	4	—																							
	Осмотр и ремонт оборудования	—	6	12	—																							



ТАБЛИЦА 2.5

Показатели	Проведение выработок с одновременным выполнением работ по опережающему осушению при расположении бурового станка		Проведение выработок с последовательным выполнением работ по проведению и опережающему осушению при расположении станка под забоем проводимой выработки
	в параллельно проведенной выработке	в нише проводимой выработки	
Максимальная длина осушаемого участка выработки, м	Любая, включая проектную длину выработки	100	120
Длина участка выработки, осушаемого пробуренными с одной установки станка скважинами, м	<60	<100	<120
Число скважин, пробуриваемых с одной установки станка при их расположении в один ряд	3	6	7
Объем бурения скважин на осушаемом участке выработки, м	300	350	550
Удельная длина буримых скважин на 1 м осушаемого участка выработки, м	6—7	4—5	5—6
Скорость проведения выработки, обеспечивающая безопасность от прорывов воды, м/мес	500—600	200—300	160—200
Трудоемкость работ, чел-смен/м	1,26	1,81	1,74
В том числе:			
осушительных	0,75	1	1
проходческих	0,41	0,66	0,48
вспомогательных	0,1	0,15	0,26
Производительность труда, м/чел-смен:			
проходчика	1,33	0,94	1
рабочего по забою	0,78	0,55	0,64

фициентах фильтрации и водоотдачи песков (соответственно  $2 \div \div 2,5$  и  $0,1 \div 0,15$  м/сут) начальный дебит отдельных скважин достигал  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Проведение штреков площадью поперечного сечения  $11,3 \div \div 15,8 \text{ м}^2$  в проходке осуществлялось с помощью отбойных молотков, крепление — металлической арочной крепью из спецпрофиля СВП с плотностью установки две рамы на метр. Протяженность выработок, пройденных за год с применением опережающего осушения, составила около 1,5 км. За счет увеличения ско-

рости проведения названных выше штреков с 10 до 40 м/мес и сокращения сроков осушения затраты на проведение 1 м выработки снизились на 48,3—77,5 руб.

Технологическая схема с размещением станка в нише проводимого штрека, как правило, применяется при комбайновом способе проходки. На шахте «Подмосковная» по такой схеме был пройден участок 15-го северного штрека длиной 500 м. С целью совмещения проведения выработки с бурением скважин на пикетах ПК-93 и ПК-105 комбайном были подготовлены две ниши размерами 0,6×4,2 м для размещения станка СБД-2М и необходимой аппаратуры. Скважины длиной 20—50 м с углами наклона к горизонту 8—45° закладывались в виде куста в направлении проведения штрека. Общий их дебит на ПК-93 составил 6,5 м<sup>3</sup>/ч. Точно такой же объем работ был выполнен на ПК-105 этого штрека. Применение данной технологии позволило обеспечить благоприятные условия проведения участка штрека и увеличить месячную скорость проведения со 104 до 146 м.

Технологическая схема с размещением станка у забоя и с заложением скважин в поперечном сечении штрека применялась при проведении выработок различного назначения на шахтах «Прогресс», «Бельковская», «Нелидовская», «Смородинская», «Середейская», «Владимировская», «Бородинская», «Липковская» и др.

Технологическая схема с применением опережающего осушения использовалась при строительстве шахт «Никулинская» и «Прогресс», главным образом, при проведении околоствольных выработок.

В настоящее время протяженность выработок с применением опережающего осушения на шахтах бассейна составляет 2,5—3 км в год. Скорость проведения при реализации разработанных технологических схем возрастает в 1,3—1,5 раза. Затраты на проведение 1 м выработки снижаются на 3—77 руб., вероятность внезапных прорывов воды сводится к минимуму.

Если притоки шахтных вод из наклонных опережающих скважин превышают 5 м<sup>3</sup>/ч, то необходимо своевременно выполнять работы по их отводу из призабойной части, сбору и удалению из выработки. Технологические схемы предусматривают выполнение этих работ после проведения выработки на полную проектную длину, отдельными участками с остановкой работ по проведению выработки или одновременно с ними.

Схема устройства дренажной канавы после проведения выработки на полную проектную длину предусматривает использование машины ДМ-2, которая может быть также применена при проведении выработки с опережающим осушением и размещением бурового станка у забоя. В этом случае бурение скважин и устройство дренажной канавы совмещаются (рис. 2.41). Месячная скорость проведения выработки составляет 200 м, трудоем-



кость проведения 1 м выработки 2,52 чел-смен, в том числе осушительных, проходческих и вспомогательных работ — соответственно 1,1, 1,04 и 0,38 чел-смен, производительность труда проходчика 1 м/чел-смен, рабочего по штреку 0,4 м/чел-смен.

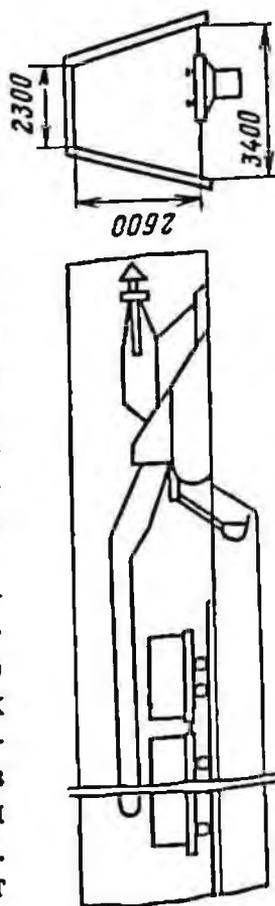
Однако наиболее полно технические возможности машины ДМ-2 реализуются при устройстве дренажной канавы на всю проектную длину выработки. При этом среднемесячная производительность труда рабочего может достигать 700 м.

При остановке проведения выработки для устройства дренажной канавы или небольшой глубине ее (до 1 м) может быть использована универсальная многооперационная машина «Штрек», применение которой на ряде шахт Подмосквовного бассейна позволило сократить трудоемкость данного процесса в 2—3 раза и при этом достигнуть уровня механизации труда 30—40%.

Технологическая схема проведения выработки с одновременным устройством дренажной канавы с помощью приспособления УПД, установленного на комбайне ПК-ЗР, приведена на рис. 2.42. Опытно-промышленная проверка этой схемы на шахте «Бруснянская» показала, что при сменной скорости проведения выработки до 6 м работы по устройству дренажной канавы полностью совмещаются с креплением и транспортированием горной массы; уровень механизации труда составляет 50%, средняя трудоемкость устройства 1 м канавы при ее глубине 1,3 м — 30 чел-мин, что в 2,5 раза меньше, чем при выполнении этих работ вручную.

Технологические схемы проведения выработок с осушением обводненных пород способом вакуумирования применяют с целью интенсификации водоотдачи мелкозернистых песков с низкими фильтрационными свойствами ( $1 \div 0,01$  м/сут), сокращения сроков осушения и создания необходимых условий для применения проходческого оборудования. На шахтах Подмосквовного бассейна этот способ используют для увеличения дебита вертикальных и наклонных скважин, в том

Рис. 2.42. Технологическая схема проведения выработки с одновременным устройством дренажной канавы с помощью УПД



Процессы	Объем работ	Продолжительность, мин	Трудоёмкость, чел-мин	Часы смены								
				1	2	3	4	5	6	7		
Подготовительно-заключительные операции	—	25	150									
Управление комбайном	5,5 м	230	230									
Зачистка штрека	5,5 м	230	460									
Обслуживание погрузки	50 м <sup>3</sup>	230	460									
Транспортирование грузов	33 ваг.	120	240									
Заготовка элементов крепи	11 рам	55	110									
Крепление	11 рам	120	480									
Настилка рельсового пути	5,5 м	25	60									
Управление устройством УПД	5,5 м	110	110									
Крепление дренажной канавы	5,5 м	25	50									
Разгрузка материалов	-3 ваг.	15	60									
Регламентированный перерыв	—	20	120									

числе направленных вниз; осуществления забойного водопонижения для стабилизации пород в части или по всему поперечному сечению штрека при наличии обводненных (оплывающих) песков и сбора воды, поступающей по контакту угля и породы; осушения пород почвы для повышения ее несущей способности.

В зависимости от характера решаемых задач выбирают глубину установки иглофильтров и схему их расположения. Глубина установки иглофильтров в скважинах для повышения их дебита определяется расстоянием, на которое осушаемый водоносный горизонт удален от ее устья. При забойном водопонижении глубина установки иглофильтров, как правило, определяется скоростью подвигания забоя за смену или сутки; при осушении пород почвы она зависит от мощности обводненных песков, а также от глубины дренажной канавы, водопонижающего или перекачного колодцев. Иглофильтры по мере необходимости могут располагаться в отдельных местах, по контуру или по всей площади осушаемого участка.

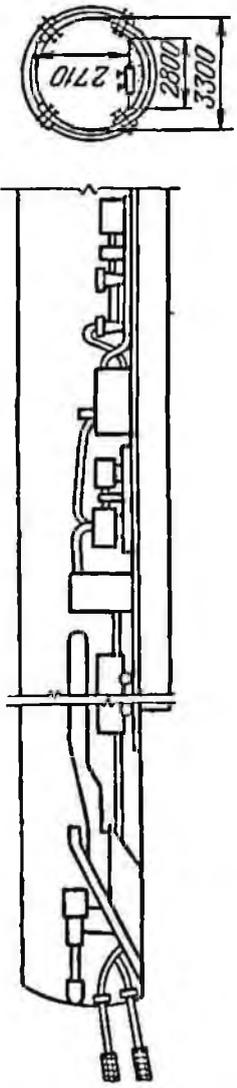
В зависимости от решаемой задачи технологические схемы проведения выработок с применением осушения способом вакуумирования могут быть различными: при вакуумировании наклонных скважин выработки проводят так же, как при опережающем осушении, а при забойном водопонижении сплошным или ступенчатым забоем.

Поскольку на шахтах Подмосковского бассейна выработки в основном проводят с нижней подрывкой, наибольшее распространение получает технологическая схема с осушением способом вакуумирования пород почвы (рис. 2.43). В начале смены 20—40 мин в нижней части поперечного сечения штрека на глубину 2—3,5 м способом гидроразмыва устанавливают два-четыре иглофильтра, которые затем подключают к проложенному вдоль одного из боков штрека общему коллектору. С пуском комплекта средств вакуумирования КСВ в течение 12—20 мин проводят осушение и стабилизацию пород почвы в зоне от 4 до 12 м. После окончания работ по осушению проводят штрек в соответствии с графиками организации работ.

Благодаря небольшой ширине комплекта КСВ и возможности расположения его на расстоянии до 100 м от забоя он не мешает выполнению процессов проходческого цикла и не требует подготовки специальной камеры.

По мере подвигания забоя переносят иглофильтры, наращивают коллектор на длину 3—6 м, осуществляют перемонтаж комплекта КСВ и его подключение к общей системе электроснабжения, устройство дренажной канавы или водопонижающих и перекачных колодцев. Наращивание коллектора занимает 10 мин; средняя трудоемкость этого процесса 0,09 чел-смен, перемонтажа КСВ — 2—2,5 чел-смен.

Рис. 2.43. Технологическая схема проведения выработки с осушением мелкозернистых песков ком- лектом КСВ



Процессы	Объем работ	Продолжительность, мин	Трудоемкость, чел-мин	Часы смены									
				1	2	3	4	5	6	7			
Подготовительно-заключительные операции	—	25	125										
Нарращивание коллектора, установка иглофильтров	4	30	120										
Работа комплекта КСВ	—	40	200										
Демонтаж иглофильтров	4	20	100										
Управление комбайном	3 м	120	120										
Обслуживание погрузки	—	120	120										
Защитка штрека	3 м	120	120										
Крепление, заготовка крепи	6 рам	150	490										
Транспортное груз	35 ваг.	150	150										
Настилка рельсового пути	3 м	20	100										
Регламентированный перерыв	—	15	75										
Устройство и крепление дренажной канавы	—	75	100										

Подвигание забоя с помощью проходческого комбайна составляет 3 м/смену, месячная скорость проведения выработки с применением данной технологии достигает 180 м, производительность труда проходчика — 0,5 м/чел-смену.

Применение технологических схем проведения выработок в сложных гидрогеологических условиях с помощью комплекта КСВ, серийное производство которого освоено заводом им. В. И. Ленина ПО «Тулауголь», на ряде шахт Подмосковского бассейна позволило в 2—2,5 раза повысить скорость проходки и вдвое снизить себестоимость 1 м штрека.

#### 2.4. Опыт высокопроизводительной работы проходческих бригад на шахтах Подмосковского бассейна

На шахтах бассейна накоплен определенный опыт высокопроизводительной работы проходческих бригад, которые в различные периоды превышали предусмотренные технологическими схемами технико-экономические показатели, особенно скорость проведения выработок — в 1,5—2 раза. Так, в июле 1986 г. бригада, возглавляемая С. К. Княмовым, на шахте «Подмосковная» провела скоростную проходку 24-го восточного выемочного штрека. При плане 650 м за 31 рабочий день было пройдено с помощью комбайна ПК-ЗР 1110 м штрека по угольному пласту вприсечку к выработанному пространству. Крепление штрека осуществлялось деревянной трапецевидной крепью при плотности установки три рамы на метр. Площадь поперечного сечения выработки в проходке 10,08 м<sup>2</sup>, в свету — 7,65 м<sup>2</sup>.

Грузы по штреку перевозились электровозами 14КР-900 в вагонетках УВГ-3,3. Забой обслуживали два электровоза, один из которых находился в проводимом штреке, другой — на магистральном штреке с порожними вагонетками, готовый к заезду в забой.

Сменное звено состояло из 8—9 чел., из них два машиниста комбайна, два проходчика, два-три горнорабочих и два машиниста электровоза.

Перед началом работ был выполнен ряд подготовительных мероприятий: увеличена длина ленточного перегружателя комбайна для размещения под ним пяти вагонеток; организована заготовка элементов деревянной крепи на поверхности, а в забое использовалась электрическая пила ЭП-1; обеспечен неснижаемый запас материалов и запасных частей в штреке; создана группа по наращиванию коммуникаций (вентиляционных труб, противопожарного става и т. д.). Работы по проведению штрека выполнялись в соответствии с приведенным на рис. 2.44 графиком. Комбайн в течение 10 мин разрушал забой и осуществлял погрузку отбитой горной массы. Производительность его по отбойке составляла 0,8 м<sup>3</sup>/мин. В это же время проходчики кроме

Процессы	Объем работ	Продолжительность, мин	Трудоемкость, мин	Часы смены										
				8	9	10	11	12	13	14	15			
Подготовительно-заключительные	—	10	90											
Управление комбайном	11 м	140	140											
Зачистка за комбайном	—	140	240											
Обслуживание погрузки	—	140	240											
Откатка груза	40 ваг.	410	820											
Заготовка крепи, крепление	33 рамы	410	2025											
Настилка временного пути, подвеска стрелы	11 м	195	195											
Настилка постоянного рельсового пути	8 м	15	30											

Рис. 2.44. График организации работ по проведению выработки бригадой, возглавляемой С. К. Климовым

машиниста комбайна зачищали штрек, следили за загрузкой вагонеток, подносили элементы крепи. После остановки комбайна 6 чел. в течение 10—15 мин устанавливали две-три рамы деревянной крепи. При этом крепление полностью совмещалось с обменом груженых вагонеток на порожние, а настилка рельсового пути — с креплением.

При такой организации работ максимальное суточное продвижение забоя составило 42,2 м. Средняя производительность труда проходчика 1,37 м/чел-смену.

В августе 1986 г. бригада, возглавляемая Героем Социалистического Труда В. Е. Перекатенковым, на шахте «Владимировская» в сложных горно-геологических условиях за 31 рабочий день обеспечила проведение 102-го северного выемочного штрека с помощью комбайна ПК-ЗР месячной скоростью 602 м.

Штрек проводился по угольному пласту. В качестве постоянной крепи применялась металлическая кольцевая крепь КПК ПЛ-16 из спецпрофиля СВП-17 с выложенным лежнем при плотности установки две рамы на метр. Площадь поперечного сечения выработки в проходке составляла 10,5 м<sup>2</sup>, в свету — 8,3 м<sup>2</sup>. Транспортирование грузов по штреку осуществлялось электровозом 10КР-900 в вагонетках УВГ-2,5 (4 вагонетки в партии). Сменное звено состояло из 8 чел., в том числе машинист комбайна, пять проходчиков и два машиниста электровоза. Работы велись в соответствии с приведенным на рис. 2.45 графиком, предусматривающим выполнение в течение смены шести проходческих циклов. В течение 25—30 мин машинист комбайна разрушал забой и обратный свод, а остальные члены звена выгружали и подносили к забою элементы крепи, следили за погрузкой и продвижением вагонеток под перегружателем. Затем пять проходчиков в течение 15—20 мин устанавливали две рамы крепи, один проходчик в это время осуществлял настилку рельсового пути, двое заменяли груженые вагонетки порожними. Продвижение забоя за сутки характеризуется следующими показателями: до 15 м — 2 раза, 15—20 м — 18 раз, 20—25 м — 10 раз, более 25 м — 2 раза. Максимальное суточное продвижение забоя составило 25,9 м. Средняя производительность труда проходчика 0,81 м/чел-смену.

При проведении магистрального штрека с помощью щитового проходческого комплекса КЩ-5,2Б на шахте «Никулинская» бригада, возглавляемая В. П. Коноваловым, достигла наибольшей месячной скорости проходки — 72 м. Штрек проводился по первым подугольным сильнообводненным пескам с остаточными напорами воды до 10 м. Основной приток воды в выработку, происходивший по контакту песка с глиной или сланцем, составлял 3—5 м<sup>3</sup>/ч; в отдельные дни он достигал 15—20 м<sup>3</sup>/ч.

Участки забоя разрабатывались с помощью отбойных молотков и ручного инструмента. На тех участках штрека, где породы

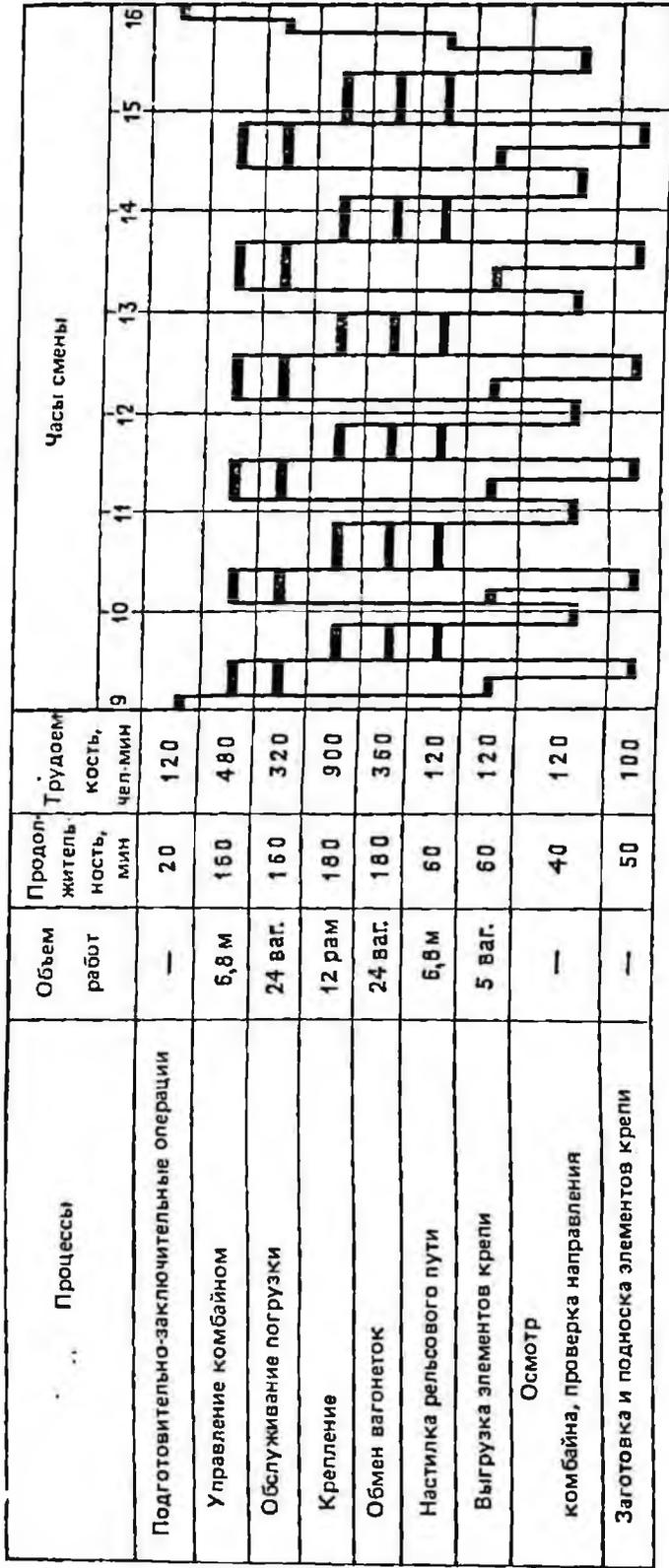


Рис. 2.45. График организации работ по проведению выработки бригадой, возглавляемой В. Е. Перекатенковым

ТАБЛИЦА 2.6

Процессы и показатели	Продолжительность выполнения работ, % от продолжительности смены	
	обычная проходка	скоростная проходка
Основные	55,7	88,6
В том числе:		
отбойка горной массы с креплением забоя и кровли	27,4	48,1
передвижка щита	2,4	4,8
установка блоков	5,6	9,8
погрузка горной массы и транспортирование грузов	15	19
тампотаж	5,3	6,9
Вспомогательные (зачистка штрека, заготовка крепежных материалов, разгрузка блоков на рольганг и т. д.)	14,7	6,9
Ремонтно-восстановительные	19,3	2,3
Регламентированные перерывы	3,4	2
Простои	6,9	0,2
<b>Итого</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

кровли и боков выработки представлены обводненными песками, была применена забивная (опережающая) крепь. При достаточно осушенных песках выемка участков забоя осуществлялась с переборкой. Остальные процессы проходческого цикла выполнялись в соответствии с приведенными на рис. 2.25 технологической схемой и графиком организации работ.

В табл. 2.6 представлено распределение времени выполнения процессов и операций в течение смены при различных скоростях проведения магистрального штрека с помощью комплекса КЩ-5,2Б. Как видно из таблицы, непроизводительные процессы в случае обычной и скоростной проходок составили 44,3 и 11,4%, т. е. были снижены почти в 4 раза. Доля основных процессов увеличилась на 32,9%.

Значительное сокращение продолжительности работ было достигнуто на ремонтно-восстановительных процессах (на 17%) за счет качественной подготовки оборудования. Простои по организационным причинам сократились на 6,7%.

Все это позволило превзойти показатели, достигнутые за предыдущие периоды работы бригады на комплексе КЩ-5,2Б почти в 2 раза.

Анализ показывает, что основными особенностями технологических схем, по которым работают передовые проходческие бригады, от типовых являются:

сокращение продолжительности выполнения основных процессов благодаря почти полной реализации производительности

оборудования и увеличения численности проходческих звеньев до 8—9 чел.;

максимальное совмещение основных процессов, прежде всего крепления, в результате чего продолжительность проходческого цикла сокращается в 1,5—2 раза;

сокращение вспомогательных процессов и операций, выполняемых непосредственно в забое;

применение технических решений, направленных на совершенствование конструкции комбайна, и оснащение забоя средствами механизации вспомогательных процессов;

высокая степень интенсивности труда при сокращении продолжительности непроизводительных процессов, регламентированных перерывов и практически полном отсутствии простоев.

## 2.5. Основные направления развития и совершенствования технологических схем и средств ведения горнопроходческих работ

Комбайновый способ проведения подготовительных выработок имеет ряд существенных преимуществ перед другими способами, поэтому расширение области его применения и дальнейшее совершенствование данной технологии принято в качестве основного направления технического перевооружения горнопроходческих работ. Это направление должно предусматривать максимально возможное совмещение основных и вспомогательных операций и процессов, значительное сокращение их продолжительности и трудоемкости, уменьшение вспомогательных процессов и операций, выполняемых непосредственно в забое, резкое снижение уровня ручного труда.

Для совершенствования проходческих комбайнов необходимо добиваться наиболее полного соответствия их конструктивных и рабочих параметров все усложняющимся горно-геологическим условиям проведения выработок, повышения надежности и производительности при отбойке и погрузке абразивных (песчаных) и склонных к налипанию (глинистых) пород, что в конечном счете позволит сократить различные технологические перерывы и простои, увеличить коэффициент использования комбайнов в течение смены, повысить их эксплуатационную производительность, а следовательно, и скорость проведения выработок. Уровень механизации этого процесса составляет 15—20%, что обуславливает высокую трудоемкость, которая приводит к снижению производительности труда проходчиков.

Наиболее продолжительный и трудоемкий процесс проходческого цикла — крепление, на долю которого приходится 40—60% продолжительности и трудоемкости проведения выработки.

Работы по сокращению продолжительности и трудоемкости крепления выработок при комбайновом способе их проведения в

настоящее время ведутся в двух основных направлениях. Первое предусматривает предварительную сборку одной или нескольких рам постоянной крепи позади комбайна с последующей их подачей и установкой непосредственно под забоем (впереди комбайна) крепеустановщиком-манипулятором рукоятного типа, расположенным на монорельсе. Работы по отбойке и погрузке горной массы во время установки крепи прекращаются, однако продолжительность остановки комбайна из-за крепления при этом значительно сокращается.

Основными достоинствами крепеустановщиков-манипуляторов рукоятного типа являются существенное сокращение продолжительности доставки и монтажа постоянной крепи, а также уменьшение доли тяжелого ручного труда. Однако применение средств механизации такого типа возможно только в выработках большого сечения.

Второе направление работ предусматривает механизированное крепление сразу после передвижки временной крепи, которая удерживает участок кровли и боков выработки при наличии неустойчивых пород.

Это направление работ несколько сдерживается из-за трудностей создания работоспособной конструкции временной крепи. Следует отметить, что применение наиболее прогрессивной поточной организации работ при проведении выработок с небольшими поперечными сечениями по неустойчивым породам возможно только при работе проходческого комбайна в сочетании с временной крепью. Кроме того, временная крепь позволяет наиболее рационально решить ряд вопросов, связанных с механизацией крепления, сокращением входящих в этот процесс вспомогательных операций и обеспечением более безопасных условий труда для проходчиков.

В настоящее время созданы различные конструкции временных крепей. Выполненные в работе [14] систематизация (рис. 2.46) и анализ опыта их применения на шахтах позволяют считать, что наиболее перспективным направлением является создание механизированных, передвижных крепей постоянного распора, обеспечивающих вынос места установки постоянной крепи за исполнительный орган комбайна. Обслуживание такой крепи должно осуществляться с минимальной трудоемкостью.

Применительно к условиям Подмосковского бассейна несущая способность временной крепи должна находиться в пределах 250—300 кН (рис. 2.47) при постоянном распоре не менее 0,04 МПа [36].

Совершенствование конструкции проходческих комбайнов применительно к специфическим горно-геологическим и горнотехническим условиям шахт Подмосковского бассейна также является одним из основных направлений, обеспечивающих улучшение показателей горнопроходческих работ. На основе обобщения

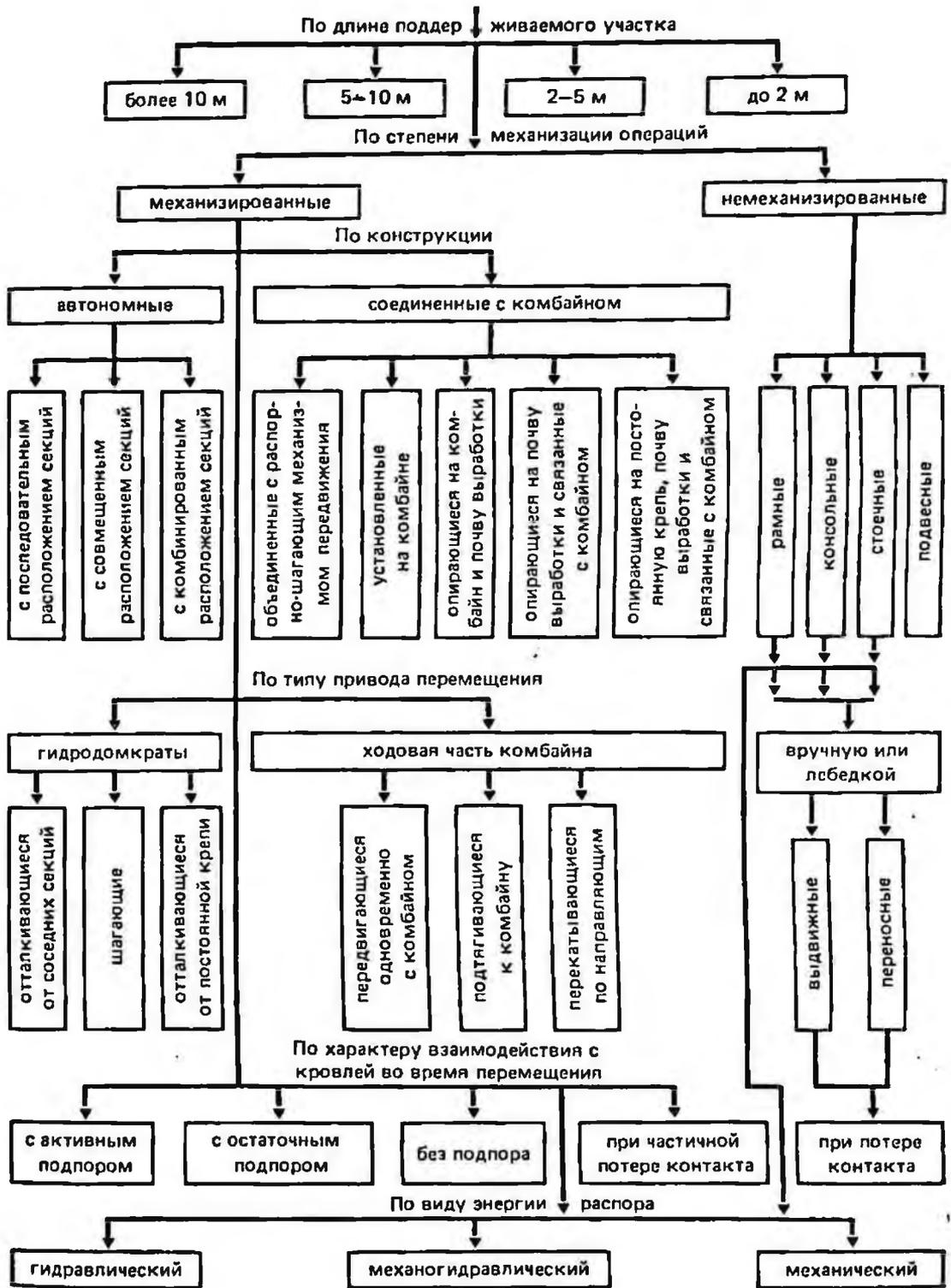


Рис. 2.46. Систематизация временных проходческих крепей

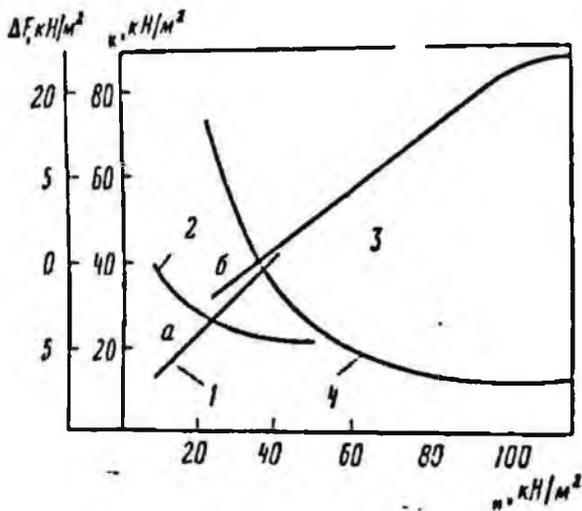


Рис. 2.47. Зависимость конечной нагрузки  $F_k$  (1, 3) и пригрузки с кровли  $\Delta F$  (2, 4) на временную механизированную проходческую крепь от начального ее распора  $F_n$  с площадью перекрытия  $5 \text{ м}^2$  (а) и  $10 \text{ м}^2$  (б)

многолетнего опыта работы комбайнов ПК-Зр на шахтах Подмоскoвнoгo бассейна ЦНИИподземмаш и Кoпeйским машиностроительным заводом им. С. М. Кирова создана новая его модификация — комбайн ИПК-Зр с увеличенной до 45 кВт мощностью привода рабочего органа и улучшенной конструкцией быстроизнашиваемых узлов.

Применительно к условиям проведения штреков с низкой несущей способностью пород почвы ЦНИИподземмаш и Кoпeйским машиностроительным заводом им. С. М. Кирова создан комбайн ГПКС с уширенными до 480 мм траками гусеничных цепей (вариант комбайна ГПК для Подмоскoвнoгo бассейна). Такое конструктивное решение позволило довести удельное давление комбайна на почву выработки до 0,06 МПа. Для оборудования комбайна ГПКС уширенными траками, высота которых на 30 мм больше чем у серийных, под станцию управления комбайна подкладывают специальные планки и устанавливают болты соответствующей длины. Вариант комбайна ГПКС успешно прошел испытание на шахте «Щекинская».

Опыт работы погрузочных органов в виде двух нагребавших лап, используемых в целом ряде погрузочных машин и проходческих комбайнов, показал, что их применение на породах, склонных к интенсивному налипанию, малоэффективно и малопродуктивно. Чтобы исключить этот конструктивный недостаток комбайна ГПКС, был создан и испытан барабанно-лопастной самоочищающийся погрузочный орган, конструкция которого не требует значительных переделок комбайна и может быть установлена в условиях проходческого забоя. Очистка рабочей поверхности лопастей осуществляется за счет несовпадения осей вращения барабана и лопастей, что обеспечивает периодическое вдвигание их и выдвигание.

Погрузочные органы в виде двух нагребавших лап и барабанно-лопастный имеют примерно одинаковые значения потребляе-

ТАБЛИЦА 2.7

Показатели	Погрузочный орган	
	в виде нагребавших лап	барабанно-лопастный
Потребляемая мощность, кВт:		
на холостом ходу	12	16
при погрузке	27	23
Давление в гидросистеме натяжного устройства скребкового конвейера, МПа:		
на холостом ходу	5,5	6
при погрузке	69	64
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	25	20—25
Фронт погрузки, м:	2,04	2,4
после установки подлапников	3	—
после корректировки угла поворота оси крепления лопастей	—	2,5
Удельная энергоемкость погрузки, кВт·ч/м <sup>3</sup>	1,08	0,92—1,15

мой мощности, производительности и фронта погрузки (табл. 2.7). Вместе с тем ручные работы при применении барабанно-лопастного органа отсутствуют.

Другие конструктивные и технологические решения, направленные на совершенствование комбайна ГПКС применительно к условиям Подмосковского бассейна, сводятся к следующему. Неполная проработка контура выработки и подача непогруженной горной массы в призабойную зону устраняются применением комбайна в сочетании с временной крепью; ограниченная видимость места обработки забоя рабочим органом компенсируется за счет использования копирного устройства; принудительная подача горной массы в зону работы нагребавших лап достигается оснащением специальными погрузочными лемехами; износостойкость узлов скребкового конвейера при работе по абразивным песчаным породам повышается путем наплавки на трущиеся поверхности твердых сплавов.

Все перечисленные выше усовершенствования прошли проверку на шахтах бассейна и могут быть реализованы как в отдельности, так и при создании средств комплексной механизации проведения подготовительных выработок на базе серийных комбайнов.

Одним из главных условий высокопроизводительной работы комбайна является высокая производительность транспортных средств и возможность их непрерывной работы. В связи с этим ПНИУИ были проведены научно-исследовательские и проектно-конструкторские разработки по совершенствованию транспортных средств применительно к специфическим условиям шахт Подмосковского бассейна.

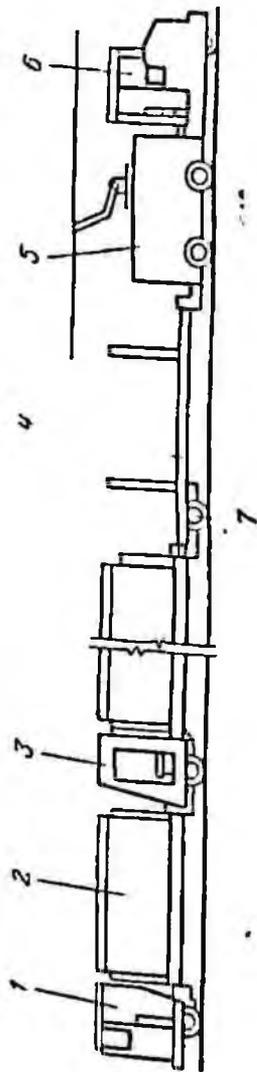


Рис. 2.48. Схема самоходного проход-  
ческого состава СРС:

1 — кабина управления хвостовым; 2 — сек-  
ция грузовая с кузовом челуственного типа;  
3 — кабина для перевозки людей; 4 — плат-  
форма для доставки материалов; 5 — сек-  
ция приводная; 6 — кабина управления го-  
ловным; 7 — ось ведущая

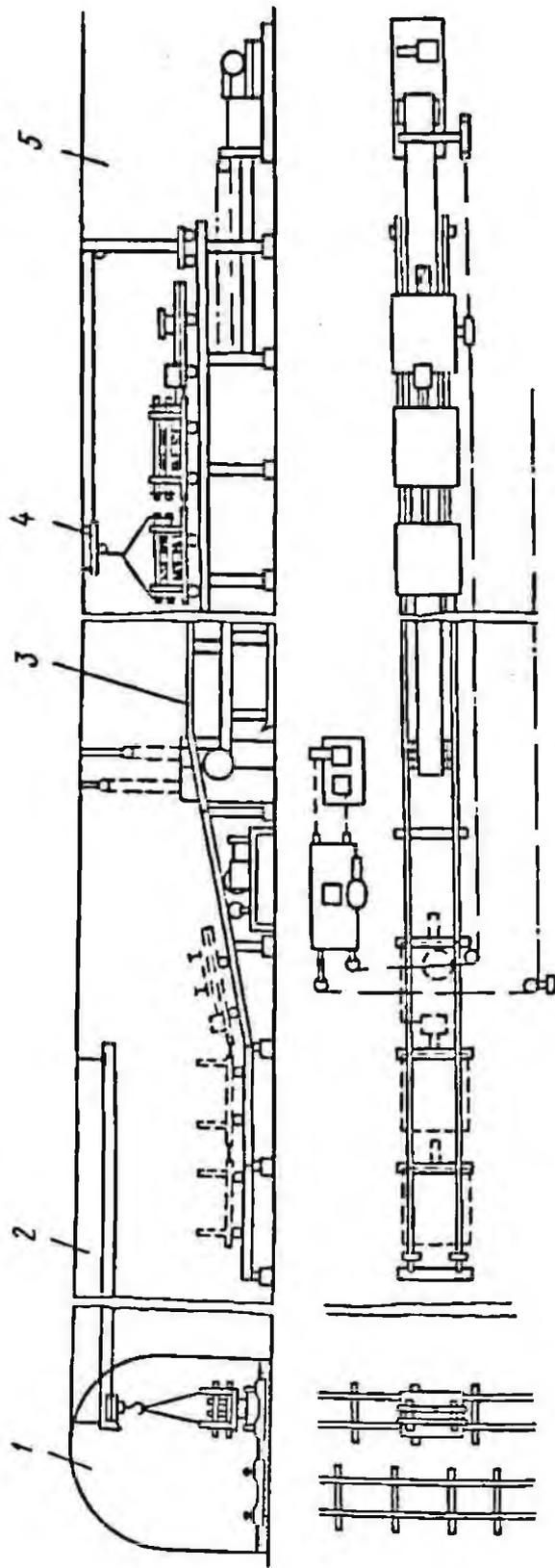


Рис. 2.49. Комплекс транспортный конвейерный КТК для выемочного конвейерного штрака:  
1 — главный (магистральный) откаточный штрак; 2 — средства механизации погрузочно-разгрузочных работ на сопряжении выемочно-  
го конвейерного штрака с главным (магистральным) откаточным штраком; 3 — конвейер ЛТС с грузоподъемной дорожкой; 4 — средства  
механизации погрузочно-разгрузочных работ под забоем; 5 — выемочный конвейерный штрак

На основе самоходных проходческих составов ПМК-2В и СПК разработан самоходный проходческий состав СПС (рис. 2.48) с приводной станцией. В состав СПС входят грузовые самоочищающиеся челюстные вагонетки с донной разгрузкой. Состав оснащен площадками для перевозки материалов и оборудования, кабинами для перевозки людей, а также двумя автономными пультами управления в начале и конце состава, что исключает движение его в забой толкачом.

На основании опыта работы ленточного проходческого телескопического конвейера ЛТС в ПНИУИ ведутся работы по созданию конвейерного транспортного комплекса КТК (рис. 2.49), оснащенного средствами механизации погрузочно-разгрузочных работ в конечных пунктах доставки, предназначенного для проведения выемочных конвейерных штреков комбайновым способом и перевозки людей.

Применение комплекса КТК позволит увеличить сменную скорость проведения выработок до 8—10 м, повысить производительность труда проходчиков до 1,2—1,8 м/чел-смену, снизить уровень ручного труда при доставке материалов и оборудования на 15—20% и сократить сроки подготовки очистных забоев на 1,5—2 мес.

Подмосковным НИУИ разработан проходческий комплекс КПП для проведения по угольному пласту выемочных штреков трапецевидной формы и площадью поперечного сечения 7,5—10 м<sup>2</sup> в проходке с подрывкой боковых пород крепостью до 4 (рис. 2.50). Комплекс имеет две модификации, отличающиеся конструктивным исполнением перегружателя в зависимости от применяемого вида транспорта.

Комплекс КПП-1 предназначен для проведения конвейерных выемочных штреков. В него входит конвейер ЛТС, который после проведения выработки на полную проектную длину остается в штреке для отработки выемочного столба.

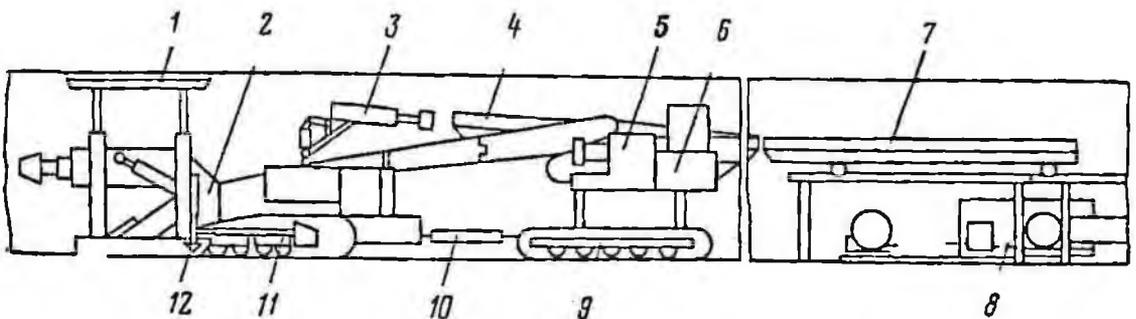


Рис. 2.50. Схема проходческого механизированного комплекса КПП:

1 — временная крепь; 2 — проходческий комбайн ГПКС; 3 — крелеустановщик; 4 — конвейер подачи крепи; 5 — маслостанция; 6 — привод конвейера и ленточного перегружателя; 7 — ленточный перегружатель с конвейером подачи крепи; 8 — ленточный конвейер; 9 — ходовая часть приводной станции; 10, 11 — гидродомкраты передвижения приводной станции и временной крепи; 12 — механизм для подготовки лунок под стойки крепи

Комплекс КПП-2 предназначен для проведения вентиляционных выемочных штреков. Здесь применяется рельсовый транспорт (электровоз или самоходный проходческий состав СПС).

Такая технология подготовки выемочных столбов не только снижает трудоемкость работ, но и значительно сокращает сроки подготовки.

Основная машина комплекса — комбайн ГПКС, осуществляющий отбойку и погрузку горной массы. Он используется в качестве опорной базы при выдвигании временной крепи, на нем смонтирован крепеустановщик, к перегружателю комбайна прикреплены конвейер подачи крепи и маслостанция комплекса. Конструкция комбайна несколько изменена: привод центрального скребкового конвейера перенесен на левую сторону с целью размещения консольной секции крепеустановщика; по бокам гусеничных тележек крепятся откидные кронштейны, используемые для перемещения временной крепи; с правой стороны впереди маслобака крепится кронштейн для монтажа крепеустановщика УВК; на приемном лотке питателя предусмотрены ограждения, препятствующие просыпанию непогруженной горной массы.

Временная крепь состоит из трех секций, образующих перекрытие. Каждая секция имеет две продольные балки, между которыми установлены опорные ролики с амортизаторами, охватываемые бесконечной лентой. Секции связаны между собой траверсами, разъемно соединенными со стойками. Последние жестко соединены с основаниями, свободно взаимодействующими со штоками гидродомкратов, которые закреплены на комбайне с помощью откидных кронштейнов. Основание шарнирно установлено на опорных лыжах. Секции имеют кассеты для рулонной затяжки. После подвигания комбайна на величину заходки гидродомкраты выносятся на откидных устройствах за габариты гусеничного хода и, упираясь штоками в основания крепи, перемещают ее относительно комбайна с постоянным распором. При этом бесконечная лента обкатывается по кровле, мягко вписываясь в гипсометрию кровли благодаря податливости амортизирующих роликов. Одновременно с перемещением крепи из кассет разматывается рулонная затяжка и перекрывает кровлю между временной и постоянной крепями. При наличии неустойчивой кровли она подхватывается сразу после обнажения подвижной центральной секцией перекрытия временной крепи в то время, когда еще продолжается оформление забоя рабочим органом комбайна. После перемещения крепи штоки гидроцилиндров вытягиваются, откидные кронштейны складываются и таким образом обеспечивается свободный подход к месту установки рам постоянной крепи.

Для механизации возведения постоянной крепи с правой стороны комбайна устанавливаются крепеустановщик УВК-3.

Подготовка лунок под стойки крепи в комплексе осуществляется лункобурами, укрепленными на задних стойках временной крепи.

Привод крепедоставщика состоит из электродвигателя, червячного редуктора и приводной цепи. Приводную секцию с консольной частью, наклон которой может регулироваться в зависимости от гипсометрии выработок, крепят с правой стороны приводной секции ленточного перегружателя. Отбитая горная масса грузится на ленточный перегружатель, состоящий из приводной, линейных и концевой серийных секций. Справа на приводной секции перегружателя крепят приводную секцию крепедоставщика, с левой стороны монтируют маслостанцию и магнитную станцию.

Линейные и концевые секции ленточного перегружателя усилены продольными и поперечными балками, жестко связанными между собой и образующими каркас, в котором расположены и зафиксированы секции перегружателя.

Ленточный перегружатель перемещается за комбайном гидродомкратами подтягивания, расположенными между рамой гусеничной тележки перегружателя и комбайном с помощью круглозвенной цепи для обеспечения свободы маневра комбайна. Управление гидродомкратами подтягивания осуществляется гидрораспределителями, установленными сзади рабочего места машиниста комбайна, от специальной маслостанции.

Стрела перегружателя вместе с конвейером подачи крепи через П-образные опоры с роликами опирается на став конвейера, который наращивают по мере подвигания забоя. Загрузка элементов крепи на крепедоставщик осуществляется одним из проходчиков с грузовой площадки.

Для управления временной крепью, лункобурами, крепеустановщиком с домкратом подтягивания перегружателя комплекс имеет самостоятельную гидросистему, не связанную с комбайном.

Электрооборудование проходческого комплекса — это совокупность электрических машин, аппаратов и устройств, связанных между собой в единую систему электроснабжения и дистанционно-автоматического управления проходческим комплексом. Электрооборудование комплекса КПП предназначено для электроснабжения токоприемников машин и механизмов комплекса и управления ими при выполнении определенных технологических операций, связанных с проведением проходческих работ, для защиты от токов короткого замыкания, освещения штрека и призабойного пространства, а также для осуществления предупредительной сигнализации при пуске механизмов комплекса.

Комплекс КПП-2 с рельсовым транспортом отличается от комплекса КПП-1 только конструкцией опор перегружателя. Ленточный перегружатель с крепедоставщиком к моменту прихода подвижного состава в забой через П-образные опоры с гидро-

домкратом и укрепленными на них лыжами опирается на шпалы рельсового пути. После установки подвижного состава под перегружатель гидродомкраты П-образных опор сокращаются и их опорные ролики устанавливаются на борта вагонеток. Во время протягивания вагонеток под перегружателем по мере их загрузки или при зарубке комбайна опорные ролики, перекатываясь по бортам вагонеток, обеспечивают работоспособность всей системы, поддерживая перегружатель с крепедоставщиком. По мере выхода подвижного состава из-под перегружателя в работу включаются П-образные гидроопоры, которые управляются с пульта, установленного с левой стороны става перегружателя.

После отправления состава гидродомкраты П-образных опор сокращаются и хвостовая часть перегружателя с крепедоставщиком занимает крайнее нижнее положение; при этом облегчается загрузка крепедоставщика и сокращается ее трудоемкость.

При знакопеременном профиле почвы до 3° комплекс КПП-2 работает в сочетании с электровозами, при больших углах — в сочетании с самоходным проходческим составом СПС.

Основные показатели работы обеих модификаций комплекса КПП приведены в табл. 2.8.

Совершенствование технологических схем и средств проведения выработок в неустойчивых породах щитовым способом ведется в направлении создания [16]:

комплексов с механизированными и частично механизированными щитами диаметром 2,1—5,6 м, оснащенных сменными исполнительными органами при максимальной унификации отдельных машин и узлов, а также с узлами проходческих комбайнов;

щитовых комплексов с исполнительными органами повышенной мощности и усилиями подачи, основанных на новых методах разрушения горных пород, на базе последних достижений науки и техники (электронно-лучевого, лазерного, плазменно-струевого и др.);

высокопроизводительных способов и средств крепления выработок, в том числе кассетного и работающего на принципе обжата крени к породе крепеукладчиков;

щитовых комплексов для работы с монолитно-прессованной бетонной крепью;

высокоэффективных механизированных щитовых комплексов для проведения выработок в водонасыщенных породах, в том числе основанных на принципе нагнетания в призабойную камеру суспензии;

усовершенствованных погрузочных средств (в частности конвейеров) с целью повышения их эффективности при работе в глинистых породах.

Одним из перспективных направлений совершенствования технологии проведения выработок большого поперечного сечения в неустойчивых обводненных породах, где применение комбай-

ТАБЛИЦА 2.8

Оборудование, входящее в комплекс, и его характеристики	КПП-1	КПП-2
Базовый комбайн:		ГПКС
тип		1,8
производительность, т/мин		4,7—15
площадь поперечного сечения проводимой выработки в проходке, м <sup>2</sup>		
мощность электродвигателя, кВт		103
масса, т		18
Временная крепь:		Постоянного распора, не связанная с комбайном
тип		2,5—3,2
высота, м		2,2
ширина по перекрытию, м		3,6
ширина по основанию, м		2—2,5
длина перекрытия, м		250
несущая способность, кН		0,03—0,05
усилие подпора, МПа		Гидродомкратами, отталкиваясь от комбайна, с постоянным подпором
способ перемещения		200
		3500
		0,01—0,12
усилие выдвигки, кН		
масса, кг		
давление на почву, МПа		
Конвейер подачи крепи:		Секционный
тип		
длина, м	40—45	12—15
скорость перемещения крепи, м/с		0,5
мощность электродвигателя, кВт		7
Установка возведения крепи:		Гидравлический манипулятор
тип		200
грузоподъемность, кг		1640—2240
вылет стрелы, мм		180
угол поворота стрелы, градус		
Транспорт:		Конвейер с грузовой дорогой <1000
тип		Электровоз или СПС Любая
длина откатки, м		
производительность:		
по горной массе, т/ч	330	16
по крепи, рам/ч		7—8
мощность электродвигателя, кВт	115	92
Площадь поперечного сечения проводимой выработки в проходке, м <sup>2</sup>		7,5—10
Сменная скорость проходки, м	12	8
Сменная производительность труда проходчика, м	2,4	1,6
Уровень ручного труда, %	48	60
Коэффициент машинного времени	0,66	0,38

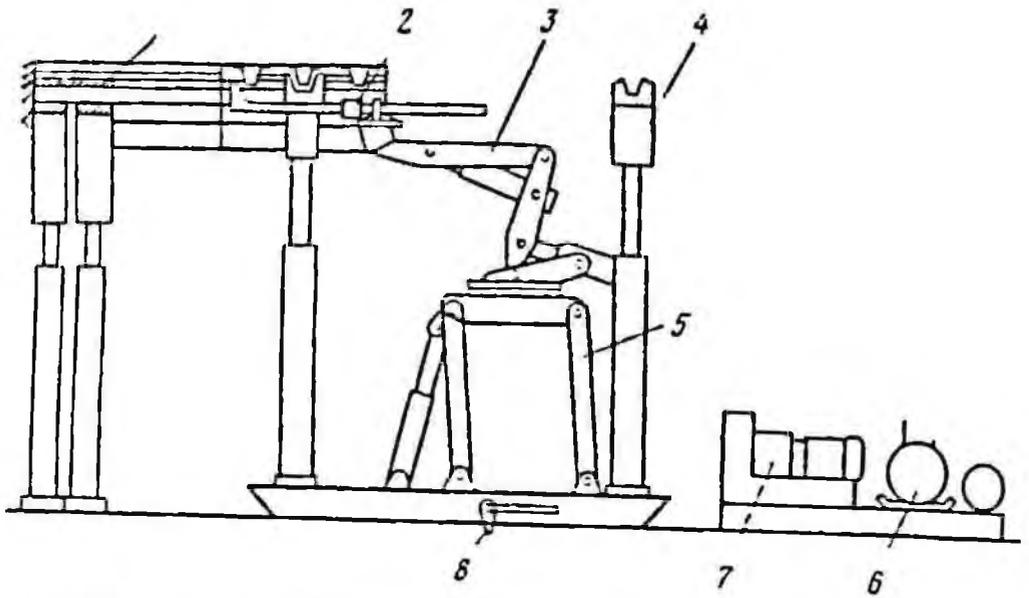


Рис. 251. Схема оборудования проходческого механизированного полка ПМП: 1 — механизированная опережающая крепь; 2 — навесное оборудование манипулятора; 3 — манипулятор; 4 — распорная стойка; 5 — портал; 6 — электрооборудование; 7 — маслостанция; 8 — механизм передвижения

нового и щитового способов невозможно или экономически нецелесообразно, является создание комплекта оборудования небольшой массы и несложной конструкции, но обеспечивающего механизацию основных проходческих процессов.

Для решения этой задачи в ПНИУИ создано оборудование проходческого механизированного полка ПМП (рис. 251), который состоит из опережающей крепи, портала с установленным на нем гидравлическим манипулятором МШ (машины «Штрек»), гидро- и электрооборудования, системы управления и комплекта навесного оборудования.

Опережающая крепь включает выдвижные консоли, которые могут перемещаться в направляющих устройствах, два опорных арочных верхняка, соединенных между собой центральной направляющей балкой и опирающихся на две гидрофицированные стойки каждый.

Портал состоит из двух опорных лыж с встроенными в них механизмами передвижки шагающего типа, двух распорных гидрофицированных арок по типу временной крепи, смонтированных на концах опорных лыж, двух шарнирных четырехзвенников, приводимых в действие гидроцилиндрами. Установленный на портале манипулятор может перемещаться в поперечном направлении. В качестве навесного оборудования манипулятора применяются гидрофицированный толкатель для задавливания консолей и передвижения арочных верхняков, несколько типов ковшей, грейфер, гидрозахват для элементов крепи. Гидрооборудование состоит из маслостанции, расположенной на почве выработки.

гидроцилиндров, блока ручного управления, гидрокоммуникаций с соответствующей гидроаппаратурой. Электрооборудование состоит из серийного магнитного пускателя, электродвигателя, маслостанции, дистанционного пульта управления, двух клеммных коробок, излучателя сигнала и электрокоммуникаций.

С помощью оборудования ПМП на шахте «Бельковская» проходческое звено из 4 чел. обеспечило за семичасовую смену продвижение магистрального вентиляционного штрека площадью поперечного сечения  $19 \text{ м}^2$  в проходке способом с опережающим (направляющим) штреком на  $0,7\text{—}1 \text{ м}$ . Производительность труда проходчика при этом увеличилась в  $2,5\text{—}3$  раза, уровень ручного труда снизился на  $30\%$ .

В зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий проведения выработки полук может работать при различных способах проходки (сплошным или ступенчатым забоем, с направляющим штреком) и использоваться как самостоятельно, так и в сочетании с другими средствами механизации (комбайном, погрузочной машиной, дренажным станком, установкой забойного водопонижения и др.). Он позволяет механизировать работы по ремонту выработок, находящихся в эксплуатации.

В перспективе на базе ПМП может быть создано семейство унифицированных шахтных манипуляторов УМШ с дистанционным или программным управлением для механизации других вспомогательных работ, выполняемых в настоящее время вручную (поддержание и ремонт горных выработок и откаточных путей, погрузочно-разгрузочные работы и т. п.).

## 3. КРЕПЛЕНИЕ, ОХРАНА И ПОДДЕРЖАНИЕ ВЫРАБОТОК

### 3.1. Общие положения

Одним из важных конструктивных элементов выработки является крепь, основное назначение которой — поддержание выработки в рабочем и безопасном состоянии в течение всего срока ее службы. Нарушение работоспособности крепи даже в одном незначительном по протяженности месте может привести к остановке всей технологической цепочки по добыче угля. Поэтому правильный выбор типа и параметров крепления выработок предопределяет их устойчивость, а следовательно, и эффективность ведения горных работ.

Используемые в Подмосковном бассейне крепи можно подразделить: по основному материалу, из которого они изготавливаются, — на деревянную, металлическую, железобетонную и смешанную; по конструкции — на рамную, секционную, блочную сборную, монолитную, с замкнутым и незамкнутым контуром; по форме поперечного сечения выработки — на трапецевидную, арочно-трапецевидную, бочкообразную, арочную, кольцевую, полигональную и пр.; по рабочей характеристике — на жесткую, податливую, ограниченно-податливую, шарнирно-податливую; по назначению выработок — на крепи для магистральных (главных) и выемочных штреков, крепи сопряжений и пересечений штреков и прочих выработок (монтажных камер, сбоек, камер под насосы для водоотлива и пр.).

Протяженность закрепленных подготавливающих выработок в бассейне составляет 165—175 км в год при общей протяженности их поддержания около 900—1000 км.

До недавнего времени основной была деревянная крепь, которой ежегодно крепились более 50% протяженности проводимых выработок. В последние годы она вытесняется металлической рамной крепью. В 1986 г. ею было закреплено выработок в 2 раза больше, чем в 1977 г., что составило 50% общей протяженности подготавливающих выработок. За этот же период деревянной крепью закреплено около 30% выработок, сборной железобетонной — 15%, монолитным железобетоном и бетоном — 5%.

Широкое применение металлической крепи резко улучшило эксплуатационное состояние выработок, несмотря на постоянное осложнение горно-геологических условий в связи с переходом на отработку приконтурных участков на действующих шахтах и освоения новых месторождений с более тяжелыми условиями поддержания выработок. В настоящее время все выработки главных

направлений крепятся только долговременными видами крепи (преимущественно металлической рамной крепью). Металлическая крепь используется по всей протяженности выемочных штреков на вновь строящихся и вводимых в эксплуатацию шахтах, а также в особо тяжелых горно-геологических условиях Нелидовского и Сафоновского месторождений.

Железобетонная сборная крепь применяется в штреках главных направлений и на выемочных штреках в пределах охранных целиков, в камерах под приводы ленточных конвейеров.

Деревянная крепь почти повсеместно не соответствует горно-геологическим условиям, что приводит к необходимости перекрепления выработок. В 1986 г. было отремонтировано 11% общей протяженности выработок, закрепленных деревом.

Эффективность применения металлической крепи очевидна. Перекрепление выработок с металлическими крепями почти в 10 раз меньше, чем с деревянной. Высокая прочность, хорошие конструктивные возможности металла позволили создать рамные и секционные крепи высокой несущей способности и обеспечить надежное поддержание выработок при выемке угля с их повторным использованием, а также при совмещенной выемке комплексами типа ОКС. Эффективность металлических крепей повышается при многократном их использовании. Это потребовало разработки типовых схем извлечения и транспортирования деформированных элементов, а также организации на шахтах пунктов их восстановления.

На устойчивость горных выработок влияют выбор целесообразной формы поперечного сечения выработки применительно к конкретным горно-геологическим условиям, использование соответствующих способов и средств охраны выработки от воздействия очистных работ и выработанного пространства, постоянный технический надзор за состоянием выработок, соблюдение технологической дисциплины при возведении крепи и эксплуатации выработки, своевременный капитальный ремонт при значительных нарушениях устойчивости выработки.

Охранные мероприятия должны предусматривать использование естественных горно-геологических условий, технологических мер и способов искусственного упрочнения вмещающих пород скрепляющими химическими растворами, а также отвечающих горно-геологическим и горнотехническим условиям конструкций основной крепи и специальных крепей усиления в зонах влияния опорного давления.

Рамные конструкции крепей должны отвечать следующим требованиям:

иметь высокую несущую способность, обеспечивать рабочее состояние выработок и безопасную работу в них в течение всего срока их службы;

иметь осадку, соответствующую ожидаемому смещению породного контура выработки при ее безремонтном поддержании; соответствовать назначению выработки, удовлетворять вентиляционному режиму и условиям противопожарной безопасности;

выполнять как несущую, так и ограждающую функции;

быть замкнутой конструкцией в условиях проявления всестороннего горного давления и слабой почвы, склонной к пучению; иметь податливость от горизонтальных нагрузок в верхних и напочвенных элементах, а от вертикальных — в боковых элементах крепи;

комплектоваться надежными замковыми соединениями, обеспечивающими сопротивление в узлах податливости, близкое прочностным и деформационным свойствам применяемого материала;

иметь максимальную унификацию элементов для крепления выработок любого поперечного сечения, транспортабельность и высокую степень ремонтпригодности всех элементов;

обеспечивать минимальные трудовые и материальные затраты на изготовление, возведение и поддержание крепи (в течение всего срока службы), извлечение и восстановление ее для повторного использования.

Для охраны выемочных выработок, сохраняемых за лавой для повторного использования, служат крепи усиления, они должны обеспечивать:

надежное, совместно с основной штрековой крепью, поддержание кровли, боков и почвы выемочных выработок в зоне повышенного опорного горного давления впереди и позади очистного забоя;

возможность механизированного демонтажа крепи в зоне установившегося горного давления за лавой, перемещения ее по штреку и возведения впереди лавы на расстоянии 15—20 м или в зоне ведения очистных работ за крепью сопряжения;

рабочую податливость крепи не менее 700 мм;

функционирование в выработках, закрепленных трапецевидной, арочно-трапецевидной, арочной и кольцевой с пологим лежнем крепями, изготовленными из специального взаимозаменимого профиля (СВП);

свободные проходы согласно требованиям Правил безопасности при расположении в выработке насосных станций механизированного комплекса, гидроаппаратуры и коммуникаций, конвейеров, противопожарного и водоотливного трубопроводов.

Правильное сочетание перечисленных требований позволит выбрать оптимальную конструкцию крепи и наиболее эффективный вариант способа охраны для тех или иных условий поддержания выработок.

### 3.2. Проявление горного давления

В процессе ведения горных работ вмещающие угольный пласт породы из естественного напряженного состояния переходят в напряженно-деформированное. При этом изгиб слоев пород (в результате выемки угля) вызывает повышенные напряжения в пласте угля, которые проявляются в виде отжима пород от забоя и боков выработки. Наличие слабых неустойчивых пород способствует быстрому расслоению их при обнажении кровли, а также прорывам песков и других слабых пород в рабочее пространство выработок. Поэтому в сложных горно-геологических условиях Подмосковского бассейна вынуждены оставлять защитные пачки угля в кровле, располагать выработки под пластом угля, применять специальные способы упрочнения пород и пр.

При низкой несущей способности пород почвы, увеличении горного давления за счет влагонасыщения пород и снижения предела текучести их (иногда до перехода в состояние плывунов) теряется высота выработок из-за вдавливания крепи в слабые породы почвы.

Более полно горное давление проявляется в виде повышения нагрузки на крепь и увеличения конвергенции вмещающих выработку пород. Для обеспечения устойчивости выработок в сложных условиях поддержания применяют крепи высокой несущей способности с замкнутым контуром или опорами на почву большой площади, а также крепи, которые можно устанавливать при малых обнажениях пород или без обнажения, с опережением забоя проводимой выработки.

Таким образом, из-за специфики проявления горного давления и взаимодействия крепи горных выработок с вмещающими породами в условиях Подмосковского бассейна необходим особый подход к выбору крепи, ее параметров и технологии крепления горных выработок.

Смещение пород контура выемочной выработки. Для правильного выбора типа крепи и параметров крепления выработок необходимы обоснованные знания о характере взаимодействия конструкций с вмещающими породами применительно к конкретным горно-геологическим условиям.

Крепь горной выработки нагружается в результате изменения напряженного состояния окружающего массива и смещения пород на ее контуре. Величина и характер этого смещения зависят от состава, строения, физико-механических свойств вмещающих пород и их обводненности, а также от технологических факторов (параметров системы разработки, скорости подвигания очистного забоя, места расположения выработки, способа ее охраны и прочее) и конструкции крепи. Определение степени влияния каждого фактора в отдельности является весьма сложной задачей, так как между ними существует большая изменчивость пара-

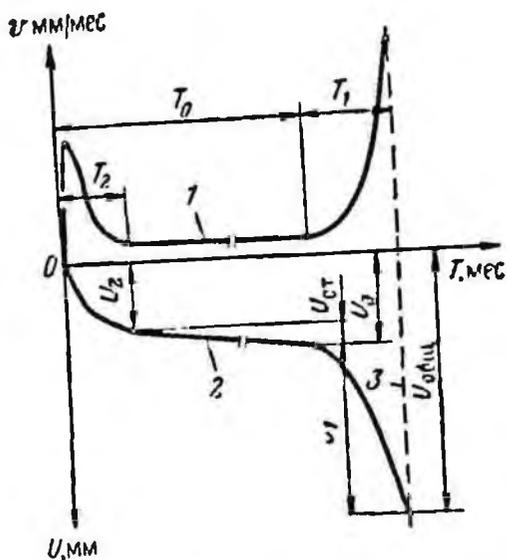


Рис. 3.1. Схема смещения пород кровли-почвы в выемочной выработке:

$v$  — скорость смещения, мм/мес;  $T$  — время, мес;  $T_0$  — время от начала проведения выработки до момента влияния очистных работ;  $T_1$  — время влияния очистного забоя;  $T_2$  — время с момента проведения выработки до начала стабилизации скорости смещения пород;  $U$  — величина смещения пород, мм;  $U_{\text{общ}}$  — общее смещение пород за время существования выработки, мм;  $U_0$  — смещение пород вне зоны влияния очистных работ, мм;  $U_1$  — смещение пород в зоне влияния очистных работ, мм;  $U_2$  — смещение пород в зоне влияния собственного забоя, мм;  $U_{\text{ст}}$  — смещение пород в зоне стабилизации сдвижения пород, мм; 1 — линия изменения скорости смещения пород; 2 — линия изменения величины смещения пород; 3 — линия очистного забоя

метров, а подобрать однородные условия, позволяющие исключить влияние всех факторов, кроме исследуемого, представляет значительную трудность.

Поэтому к настоящему времени нет достаточного объема исследований для получения точного аналитического решения, объективно отражающего механизм совместного взаимодействия крепи и массива пород. Принятые расчетные схемы и модели в значительной степени идеализированы и не описывают точно процессы, происходящие в массиве горных пород. Решения по известным теориям в большинстве случаев не сходятся с практикой и не удовлетворяют производителей.

Вместе с тем опыт проведения и поддержания выработок, шахтные и лабораторные исследования позволяют выявить эмпирические зависимости. Такие зависимости базируются на большом статистическом материале и устанавливаются применительно к конкретным условиям эксплуатации выработок. Использование их в практике подтверждает правомерность такого решения.

Для условий Подмосковского бассейна общая закономерность проявления горного давления и смещения пород контура выработки установлена на основе многочисленных исследований ПНИУИ, ВНИИИ, Тульского политехнического института, ИГД им А. А. Скочинского, Московского горного института, проведенных в различных горно-геологических условиях. Графическое изображение смещения пород для выработок, охраняемых по схеме «массив-массив», приведено на рис. 3.1.

За период существования выработка испытывает различные по характеру проявления горного давления, поэтому величина и скорости смещения пород кровли и почвы в каждый период ее поддержания имеют свои особенности. Величину смещений можно разбить на отдельные зоны.

Первая зона относится к периоду с момента начала проведения выработки до начала стабилизации скорости смещения пород контура выработки (в дальнейшем зона влияния собственного забоя). Эта зона делится на активную и пассивную части. В первой части под влиянием забоя скорость смещения пород нарастает до максимума, а во второй — по мере удаления забоя снижается до практически полной ее стабилизации.

Вторая зона образуется к моменту существования выработки, когда прирост смещений пород контура в единицу времени и скорость этих смещений постоянны (в дальнейшем зона стабилизации смещений пород).

Третья зона начинается впереди очистного забоя и заканчивается на его линии; она относится к периоду влияния очистных работ на устойчивость выработки и характеризуется быстрым возрастанием скорости смещения пород.

Смещение пород кровли и почвы (мм) за весь срок службы выемочной выработки можно представить в виде

$$U_{\text{общ}} = U_0 + U_1, \quad (3.1)$$

где  $U_{\text{общ}}$  — общее смещение пород контура за весь период службы выработки, мм;  $U_0$  — смещение пород вне зоны влияния очистных работ, мм;  $U_1$  — смещение пород в зоне влияния очистных работ (в зоне опорного давления лавы), мм.

В то же время смещение пород вне зоны влияния очистных работ  $U_0$  складывается из смещений пород в зоне влияния собственного забоя  $U_2$  и в зоне стабилизации сдвижения пород  $U_{\text{ст}}$ . Следовательно,

$$U_0 = U_2 + U_{\text{ст}}. \quad (3.2)$$

Подставляя данное выражение в формулу (3.1), получим

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + U_{\text{ст}}. \quad (3.3)$$

В период проведения выработки при удалении забоя на определенное расстояние скорость смещения пород снижается и стабилизируется до практически постоянного значения; наступает зона стабилизации. Смещение пород (мм) в этой зоне можно определить через среднюю скорость смещения пород:

$$U_{\text{ст}} = v_{\text{ст}} (T_0 - T_2), \quad (3.4)$$

где  $U_{\text{ст}}$  — смещение пород в зоне стабилизации, мм;  $v_{\text{ст}}$  — скорость смещения пород в зоне стабилизации, мм/мес;  $T_0$  — период времени от начала проведения выработки до момента влияния очистных работ, мес;  $T_2$  — период времени с момента проведения выработки до стабилизации скорости смещения пород, мес.

Подставляя формулу (3.4) в формулу (3.3), получим:

$$U_{\text{общ}} = U_1 + U_2 + v_{\text{ст}} (T_0 - T_2). \quad (3.5)$$

ТАБЛИЦА 3.1

Группа условий поддержания	$(U_1+U_2)$ , мм	$v_{ст}$ , мм/мес	$T_2$ , мес
I	40	1,5	2
II	115	4,5	2,5
III	160	13,5	3,5

Для учета условий поддержания выработок вводим коэффициент  $K$ , зависящий от состава и строения пород кровли и почвы, а также от некоторых других факторов.

В окончательном виде выражение (3.5) будет иметь следующий вид:

$$U_{общ} = [U_1 + U_2 + v_{ст}(T_0 - T_2)]K. \quad (3.6)$$

В табл. 3.1 приведены значения параметров, вошедших в формулу (3.6), в зависимости от условий проведения и поддержания выработок, в табл. 3.2 — значения коэффициента  $K$  по группам и категориям условий.

Время влияния очистного забоя в формуле (3.6) не учитывается. (Общая зона влияния очистных работ впереди лавы в различных условиях поддержания проявляется на расстоянии 15—40 м, а средняя скорость подвигания очистного забоя составляет свыше 50 м/мес.)

Таким образом, задавшись периодом  $T_0$  и подставив из табл. 3.1 и 3.2 значения параметров, входящих в формулу (3.6), определим ожидаемое относительное смещение пород кровли и почвы в любой заданной точке выработки за полный срок ее службы.

При этом когда условия проведения и поддержания для выработок нельзя четко отнести к данной группе (например, II или III), значения параметров  $(U_2+U_1)$ ,  $v_{ст}$ ,  $T_2$  и  $K$  согласно табл. 3.1 и 3.2 следует принимать средними из этих групп.

Отклонения рассчитанных по формуле (3.6) данных от фактических, полученных на замерных станциях по 20 выработкам, составили: ( $\pm 2-16\%$ ) — в 13 случаях; ( $\pm 20-25\%$ ) — в 4 случаях и ( $\pm 28-32\%$ ) в 3 случаях, что свидетельствует о хорошей сходимости расчетных и фактических данных.

ТАБЛИЦА 3.2

Группа условий поддержания	Коэффициент $K$ для типов непосредственной кровли		
	легкой	средней	тяжелой
I	1	2	3
II	1	1,3	1,7
III	1	1,2	1,5

ТАБЛИЦА 3.3

Группа условий поддержания	$(U_1' + U_2')$ , мм	$v_{ст}'$ , мм/мес	$T_2'$ , мес
I	70	3,5	1,5
II	150	5,5	2
III	190	9,5	3

Исследованиями установлено, что качественная характеристика скоростей и смещений для выемочных выработок, проводимых вприсечку к выработанному пространству, аналогична зависимости для выработок, проводимых в массиве горных пород. В то же время количественные значения параметров, входящих в формулу (3.6), имеют существенные различия. Поэтому для использования данной формулы в нее внесены дополнения и определены значения параметров применительно к присечным выработкам.

На смещение пород кровли и почвы и устойчивость проводимой присечной выработки в значительной мере влияет интервал времени между окончанием очистных работ в смежном выемочном столбе и началом ее проведения. Этот фактор характеризует степень уплотнения обрушенных пород в выработанном пространстве к моменту проведения выработки. Таким образом, формула (3.6) для присечной выработки будет иметь следующий вид:

$$U'_{общ} = [U'_1 + U'_2 + v'_{ст}(T'_0 - T'_2)]K' + U_t, \quad (3.7)$$

где  $U_t$  — смещение пород кровли и почвы, зависящее от интервала времени между окончанием очистных работ и началом проведения присечной выработки, мм.

Значения параметров, входящих в формулу (3.7), можно выбрать по табл. 3.3 и 3.4 или определить по формуле (3.35).

Нагрузки на крепь от горного давления зависят от совокупного влияния горно-геологических, горнотехнических и технологических факторов, к которым относятся: физико-механические свойства пород, форма и размеры сечений выработок, время нагружения, рабочая характеристика крепи, влияние очистных работ, наличие водоносных горизонтов во вмещающих породах и их водообильность, способ охраны выработки, технология веде-

ТАБЛИЦА 3.4

Группа условий поддержания	Коэффициент $K'$ для типов непосредственной кровли		
	легкой	средней	тяжелой
I	1	1,5	2
II	1	1,3	1,6
III	1	1,2	1,5

ния работ при возведении крепи и др. Многообразие и изменчивость этих факторов осложняют процесс ведения крепижных работ.

В настоящее время при проектировании горных выработок и разработке крепей используются экспериментальные данные о наличии горного давления, получаемые при непосредственных измерениях в шахтных условиях.

Горное давление воздействует на крепь по периметру и длине выработки неравномерно, наблюдается значительная асимметрия распределения контактных давлений, которые изменяются во времени. Эти явления объясняются как особенностями геомеханической обстановки в окружающих выработку породах, присущей песчано-глинистому комплексу пород с большим разнообразием физико-механических свойств и сильной обводненностью, так и неравномерностью нагружения крепи, происходящей из-за некачественной забутовки закрепного пространства, неправильной установки верхних «поясков», затяжек и расклинки рам, а также из-за неодинаковых усилий зажатия замков в соединительных узлах податливых крепей. Такие явления осложняют условия работы крепи и нарушают ее устойчивость, так как крепь испытывает пространственные косонаправленные нагрузки, приводящие к изгибокрутильным деформациям элементов [11, 28].

Существенное влияние на состояние выработок оказывают слабые породы почвы. При низкой несущей способности последних крепь значительно вдавливается, создавая дополнительную податливость и способствуя большим смещениям кровли.

В зависимости от рабочего сопротивления крепи смещение кровли  $U_{кр}$  изменяется по гиперболической закономерности вида

$$U_{кр} = aN^b, \quad (3.8)$$

где  $a$  и  $b$  — эмпирические коэффициенты;  $N$  — несущая способность крепи, кН/м<sup>2</sup>.

С увеличением ширины выработки горное давление на крепь резко возрастает. В результате влияния очистных работ вокруг выработки интенсивно деформируются, разрушаются и сдвигаются породы. В зоне влияния очистных работ нагрузки на крепь могут возрастать в 2—3 раза.

Исследования показали, что в характерных для Подмосковного угольного бассейна условиях крепь выработок воспринимает горное давление чаще всего как со стороны кровли, так и со стороны боков и почвы выработки. Наибольшие нагрузки воспринимаются верхним строением крепи со стороны кровли. На шахтах Сафоновского и значительно реже на других месторождениях имеют место случаи, когда боковое горное давление гораздо выше вертикального.

В процессе исследований ИГД им. А. А. Скочинского [28] получены следующие значения нагрузок на крепь подготовитель-

ТАБЛИЦА 3.5

Условия поддержания	Нагрузка на крепь горных выработок, кН/м <sup>2</sup>	
	со стороны кровли	с боков
Легкие	<60	<30
Средние	60—120	30—60
Тяжелые*	120—350	60—200
	120—600	60—500

\* В числителе приведены параметры для выемочных выработок, в знаменателе — для главных. В легких и средних условиях нагрузки на крепь выемочных и главных выработок одинаковые.

ных выработок: минимальное — 19,3 кН/м<sup>2</sup>, среднее — 32,6 и максимальное — 45,9 кН/м<sup>2</sup>. Расчет крепи для штреков главных направлений рекомендуется проводить на максимальное давление со стороны кровли — 65 кН/м<sup>2</sup> при обводненных песках и 45 кН/м<sup>2</sup> при наличии глин, не склонных к пучению.

Подмосковным НИУИ установлены величины нагрузки на крепь выработок применительно к разработанной классификации условий поддержания выработок (табл. 3.5) [30, 33].

Для теоретического обоснования нагрузок на присечную крепь при неустойчивых покрывающих породах, характерных для Подмосковного бассейна, наиболее правильным является использование основных положений механики грунтов. Заметим, что термин «грунт» в инженерном понятии включает все рыхлые или умеренной прочности осадочные породы, подобные гравию, пескам, илам или глинам и многим их переходным разностям и разновидностям.

На рис. 3.2, а приведена схема распределения сил внутри массива пород при формировании нагрузки на присечную крепь. Как видно из этой схемы, нагрузка на перекрытие крепи является результатом взаимодействия четырех систем.

Система I — нетронутый породный массив, обладающий сопротивлением сжатию и сдвигу. Сопротивление сдвигу здесь обусловлено двумя физико-механическими факторами: внутренним трением и сцеплением, так что между сдвигающими усилиями  $\tau$  (МПа) и сжимающим вертикальным давлением  $p$  (МПа) имеется зависимость вида (уравнение Кулона)

$$\tau = pf + c, \quad (3.9)$$

где  $f$  — коэффициент внутреннего трения породы, равный  $\operatorname{tg} \varphi$  ( $\varphi$  — угол внутреннего трения породы);  $c$  — сцепление породы, не зависящее от нормального давления, МПа.

На рис. 3.2, б приведен график зависимости  $\tau$  от  $p$  для связанных пород.

ния работ при возведении крепи и др. Многообразие и изменчивость этих факторов осложняют процесс ведения крепежных работ.

В настоящее время при проектировании горных выработок и разработке крепей используются экспериментальные данные о наличии горного давления, получаемые при непосредственных измерениях в шахтных условиях.

Горное давление воздействует на крепь по периметру и длине выработки неравномерно, наблюдается значительная асимметрия распределения контактных давлений, которые изменяются во времени. Эти явления объясняются как особенностями геомеханической обстановки в окружающих выработку породах, присущей песчано-глинистому комплексу пород с большим разнообразием физико-механических свойств и сильной обводненностью, так и неравномерностью нагружения крепи, происходящей из-за некачественной забутовки закрепного пространства, неправильной установки верхних «поясков», затяжек и расклинки рам, а также из-за неодинаковых усилий зажатия замков в соединительных узлах податливых крепей. Такие явления осложняют условия работы крепи и нарушают ее устойчивость, так как крепь испытывает пространственные косонаправленные нагрузки, приводящие к изгибокрутильным деформациям элементов [11, 28].

Существенное влияние на состояние выработок оказывают слабые породы почвы. При низкой несущей способности последних крепь значительно вдавливается, создавая дополнительную податливость и способствуя большим смещениям кровли.

В зависимости от рабочего сопротивления крепи смещение кровли  $U_{кр}$  изменяется по гиперболической закономерности вида

$$U_{кр} = aN^b, \quad (3.8)$$

где  $a$  и  $b$  — эмпирические коэффициенты;  $N$  — несущая способность крепи, кН/м<sup>2</sup>.

С увеличением ширины выработки горное давление на крепь резко возрастает. В результате влияния очистных работ вокруг выработки интенсивно деформируются, разрушаются и сдвигаются породы. В зоне влияния очистных работ нагрузки на крепь могут возрастать в 2—3 раза.

Исследования показали, что в характерных для Подмосквовного угольного бассейна условиях крепь выработок воспринимает горное давление чаще всего как со стороны кровли, так и со стороны боков и почвы выработки. Наибольшие нагрузки воспринимаются верхним строением крепи со стороны кровли. На шахтах Сафоновского и значительно реже на других месторождениях имеют место случаи, когда боковое горное давление гораздо выше вертикального.

В процессе исследований ИГД им. А. А. Скочинского [28] получены следующие значения нагрузок на крепь подготовитель-

ТАБЛИЦА 3.5

Условия поддержания	Нагрузка на крепь горных выработок, кН/м <sup>2</sup>	
	со стороны кровли	с боков
Легкие	<60	<30
Средние	60—120	30—60
Тяжелые*	120—350	60—200
	120—600	60—500

\* В числителе приведены параметры для выемочных выработок, в знаменателе — для главных. В легких и средних условиях нагрузки на крепь выемочных и главных выработок одинаковые.

ных выработок: минимальное — 19,3 кН/м<sup>2</sup>, среднее — 32,6 и максимальное — 45,9 кН/м<sup>2</sup>. Расчет крепи для штреков главных направлений рекомендуется проводить на максимальное давление со стороны кровли — 65 кН/м<sup>2</sup> при обводненных песках и 45 кН/м<sup>2</sup> при наличии глин, не склонных к пучению.

Подмосковным НИУИ установлены величины нагрузки на крепь выработок применительно к разработанной классификации условий поддержания выработок (табл. 3.5) [30, 33].

Для теоретического обоснования нагрузок на присечную крепь при неустойчивых покрывающих породах, характерных для Подмосковного бассейна, наиболее правильным является использование основных положений механики грунтов. Заметим, что термин «грунт» в инженерном понятии включает все рыхлые или умеренной прочности осадочные породы, подобные гравию, пескам, илам или глинам и многим их переходным разностям и разновидностям.

На рис. 3.2, а приведена схема распределения сил внутри массива пород при формировании нагрузки на присечную крепь. Как видно из этой схемы, нагрузка на перекрытие крепи является результатом взаимодействия четырех систем.

Система I — нетронутый породный массив, обладающий сопротивлением сжатию и сдвигу. Сопротивление сдвигу здесь обусловлено двумя физико-механическими факторами: внутренним трением и сцеплением, так что между сдвигающимися усилиями  $\tau$  (МПа) и сжимающим вертикальным давлением  $p$  (МПа) имеется зависимость вида (уравнение Кулона)

$$\tau = pf + c, \quad (3.9)$$

где  $f$  — коэффициент внутреннего трения породы, равный  $\operatorname{tg} \varphi$  ( $\varphi$  — угол внутреннего трения породы);  $c$  — сцепление породы, не зависящее от нормального давления, МПа.

На рис. 3.2, б приведен график зависимости  $\tau$  от  $p$  для связанных пород.

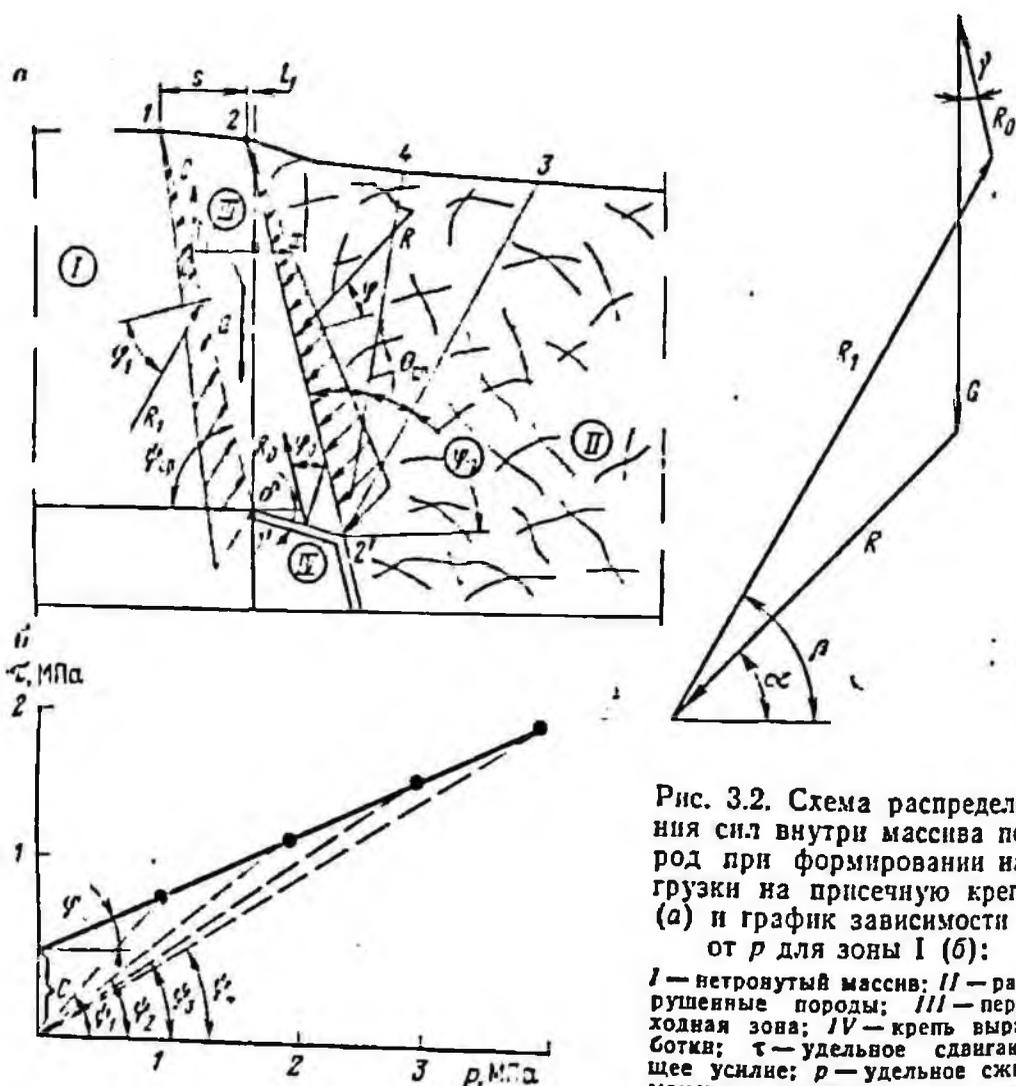


Рис. 3.2. Схема распределения сил внутри массива пород при формировании нагрузки на присечную крепь (а) и график зависимости  $\tau$  от  $p$  для зоны I (б):

I — нетронутый массив; II — разрушенные породы; III — переходная зона; IV — крепь выработки;  $\tau$  — удельное сдвигающее усилие;  $p$  — удельное сжимающее вертикальное давление

Из выражения (3.9) можно определить угол сдвига по известной формуле

$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \varphi + c/p. \quad (3.10)$$

Выражение (3.9) описывает явление сдвига в упрощенной форме. Сопротивление породы сдвигу зависит от множества других факторов, не учитываемых данной зависимостью, поэтому все теоретические построения с использованием характеристик  $c$  и  $\varphi$  в количественном отношении носят лишь ориентировочный характер.

Другим подходом к решению таких задач является непосредственное определение сопротивления породы сдвигу  $\tau$  в полевых условиях (что не вызывает затруднений) с последующим вычислением угла сдвига  $\psi$ , по формуле

$$\psi = \operatorname{arctg} \tau. \quad (3.11)$$

Угол сдвига  $\psi$  массива в рассматриваемой задаче нужен для определения угла наклона поверхности 2—2' и параллельной ей поверхности 1—1' (см. рис. 3.2, а). Плоскость 2—2' является поверхностью скольжения разрушенных пород по породам зоны III, сохраняющим сцепление. Эта поверхность может приниматься в расчетах плоской, круглоцилиндрической и более сложных очертаний.

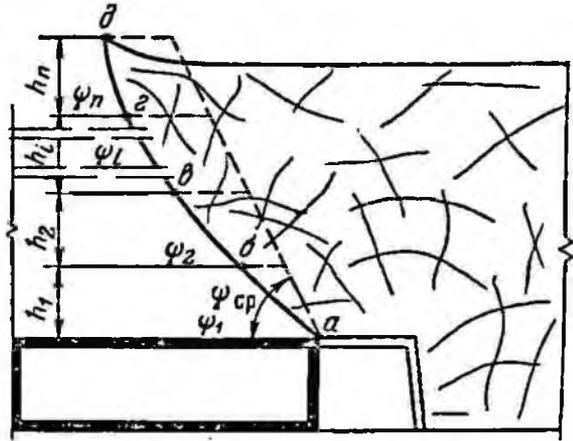


Рис. 3.3. Построение поверхности скольжения в массиве пород

Для построения профиля поверхности скольжения при известных очертании и значении  $\psi$  разбивают массив на некоторое число горизонтальных полос в соответствии с напластованием пород (рис. 3.3) и определяют для каждого пласта давление  $P_6$ , которое принимают равным весу вышележащих пород, т. е.

$$P_{6i} = \sum_{k=i-1}^n \psi_k h_k. \quad (3.12)$$

Заметим, что при построении профиля устойчивого откоса давление определяют с учетом веса рассматриваемого слоя, тогда как в данной задаче, как будет показано ниже, наиболее неблагоприятный случай загрузки присечной крепи соответствует меньшему давлению. Для этого рекомендуется формула (3.12), в которой учитывается вес только вышележащих слоев.

В соответствии с найденным значением  $P_6$  и по заданным  $\rho$  и  $c$  определяют коэффициент сдвига  $\text{tg} \psi$ , а затем углы  $\psi$  для каждого пласта породы.

Полученные углы  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  и т. д. откладываются в точках  $a, b, c$  и т. д.; линии углов соединяются в одну ломаную линию, которая и будет считаться профилем поверхности скольжения.

Для решения задачи в первом приближении можно принять профиль поверхности скольжения в виде прямой линии под некоторым углом к горизонту

$$\psi_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \psi_i h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (3.13)$$

где  $\psi_i$  и  $h_i$  — угол сдвига и мощность  $i$ -го пласта породы;  $n$  — число пластов, покрывающих угольный пласт.

По данным замеров об опережении линии осадки земной поверхности по отношению к линии забоя очистной выработки можно определить угол сдвига  $\psi_{ср}$  по формуле

$$\psi_{ср} = \operatorname{arctg} \frac{H}{s+l_1} \quad (3.14)$$

где  $H$  — мощность пород, покрывающих пласт;  $s$  — горизонтальная проекция верхняка крепи;  $l_1$  — опережение линии осадки земной поверхности по отношению к линии обреза пласта (см. рис. 3.2, а).

Угол сдвига можно определить по формулам (3.10), (3.11) и по данным замеров осадок земной поверхности (3.14).

Зона нетронутого массива пород характеризуется параметрами  $\phi$  и  $c$  (или одним углом сдвига  $\psi$ ) и ограничивается со стороны зоны III плоскостью  $1-1'$ , наклоненной к горизонту под углом  $\psi_{ср}$  (см. рис. 3.2, а).

Система II — разрушенные породы. В зоне II породы находятся в разрушенном состоянии. Под разрушением здесь понимается нарушение сцепления в результате действия предельных сдвигающих усилий. Крупность образовавшихся частиц породы зависит от ее физико-механических свойств. При принятой расчетной схеме важно, чтобы размеры кусков разрушенной породы, залегающей непосредственно над пластом, были в 5—10 раз меньше пролета присечной выработки. Связь между частицами породы в этой зоне существует только благодаря силам внутреннего трения, так что в формуле (3.9) второй член суммы отсутствует, а прямая  $\tau = f(p)$  проходит через начало координат.

В разрушенных породах образуется призма сползания  $2-2'-3$  (см. рис. 3.2, а), ограниченная со стороны завала линией скольжения  $2'-3$ , которую можно принять в виде прямой, наклоненной к горизонту под углом  $\psi_{ср}$ , где  $\psi_{ср}$  — угол внутреннего трения разрушенных пород, определяемый по формуле (3.13), если в нее вместо углов  $\psi_i$  подставлять углы внутреннего трения отдельных пластов разрушенной породы  $\phi_i$ .

Угол наклона линии скольжения  $2'-3$  можно определять также по данным натурных замеров и замеров на моделях из эквивалентных материалов, характера сдвижений земной поверхности.

По плоскости  $2-2'$  призма скольжения  $2-2'-4$  оказывает активное давление, определяемое как давление грунта на наклонную подпорную стенку, значение которого на глубине  $z$  от поверхности определяется по формуле

$$P = \mu \gamma_{ср} z, \quad (3.15)$$

где  $\mu$  — коэффициент, выражаемый через углы  $\psi_{ср}$ ,  $\phi_{ср}$  и  $\phi$  по

формуле

$$\mu = \frac{\sin(\varphi_{\text{ср}} + \psi_{\text{ср}})}{\left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_{\text{ср}} + \varphi) \sin \varphi_{\text{ср}}}{\cos(\varphi + \varphi_{\text{ср}}) \sin \psi_{\text{ср}}} \right]^2 \cos(\varphi + \varphi_{\text{ср}}) \sin^2 \psi_{\text{ср}}}; \quad (3.16)$$

$\gamma_{\text{ср}}$  — средневзвешенное значение плотности покрывающих пород

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i h_i}{\sum h_i}. \quad (3.17)$$

Максимальное давление в точке 2' равно

$$P_{\text{max}} = \mu \gamma_{\text{ср}} H, \quad (3.18)$$

где  $H = \sum_{i=1}^n h_i$  — глубина залегания угольного пласта, м.

Равнодействующая давления  $R$  рассчитывается по формуле

$$R = \frac{1}{2} \mu \gamma_{\text{ср}} H^2. \quad (3.19)$$

Если надугольные породы состоят из нескольких пластов с резко различающимися свойствами, то ординаты трапецевидной эпюры давления следует определять для каждого слоя в отдельности, при этом давление на уровне верхней границы  $i$ -го пласта вычисляется по формуле

$$P_{\text{min}}^i = \mu_i \sum_{j=1}^{i-1} \gamma_j h_j, \quad (3.20)$$

где  $\mu_i$  определяется по формуле (3.16) в соответствии с характеристиками породы в  $i$ -ом пласте.

На уровне нижней границы  $i$ -го пласта давление составляет

$$P_{\text{max}}^i = \mu_i \sum_{j=1}^i \gamma_j h_j. \quad (3.21)$$

Равнодействующая активного давления на переходный слой со стороны  $i$ -го пласта разрушенных пород определяется в этом случае по формуле

$$R = \frac{P_{\text{min}}^i + P_{\text{max}}^i}{2} h_i. \quad (3.22)$$

Система III — переходная зона. Породы, находящиеся в зоне 1—1'—2'—2 (см. рис. 3.2, а), составляют переходный слой между нетронутым массивом и разрушенными породами, потерявшими сцепление. Под действием сдвигающейся призмы происходит сдвиг по линии 2—2'. По линии 1—1' проявляется распределенный по треугольнику реактивный отпор массива, рав-

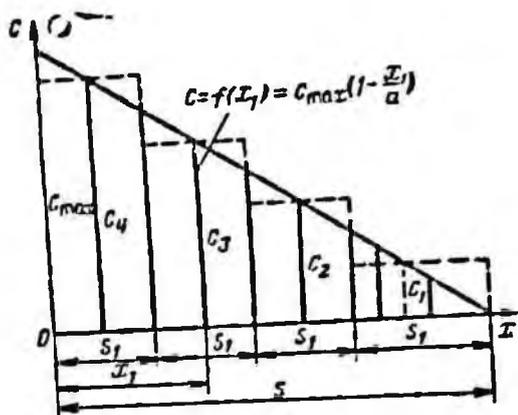
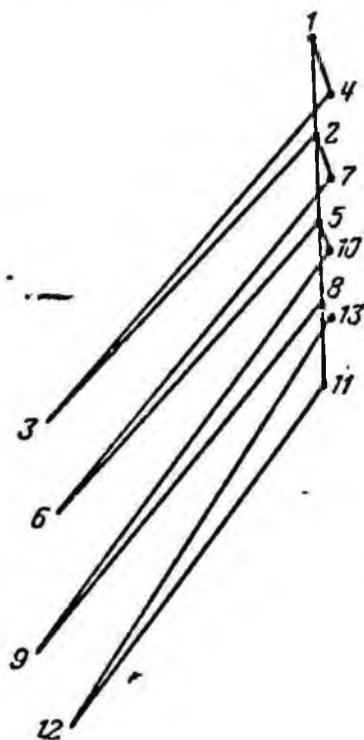
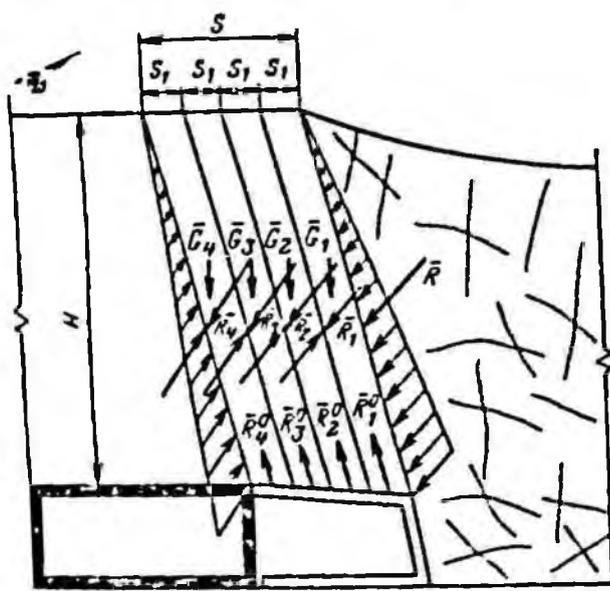


Рис. 3.4. График изменения сцепления пород в переходной зоне

Рис. 3.5. Нагрузки на присечную крепь с разбивкой переходной зоны на вертикальные слои на вертикальные слои



нодействующая которого  $\bar{R}$  отклонена от линии  $1-1'$  на угол  $\psi_{\text{ср}}$ . Породы данного участка обладают сцеплением подобно нетронутому массиву; по этой линии действуют сдвигающие усилия, близкие по значению к разрушающим.

В промежутке между упомянутыми выше линиями породы находятся в переходном состоянии: при сдвигении от целика к завалу сцепление в них уменьшается от максимального значения до нуля. Изменение сцепления пород по некоторому горизонтальному сечению  $0-X_1$  переходного слоя (см. рис. 3.2, а) можно принять прямолинейным (рис. 3.4).

Для определения давления на верхняк крепи необходимо рассмотреть условия равновесия переходного слоя под действием: давления разрушенных пород со стороны завала  $R$ ;

реактивного отпора нетронутого массива по линии  $1-1'-R_1$ ; собственного веса пород переходного слоя  $G = \gamma_{cp} s H$ ; реакции крепи  $R_0$ .

Величина  $R_0$  легко определяется из силового многоугольника (см. рис. 3.2, а), построенного с помощью известных по величине и направлению сил  $R$ ,  $R_1$  и  $G$ . При этом можно воспользоваться как графическим, так и аналитическим методом. В первом случае значение силы  $R_0$  замеряется в масштабе, а во втором рассчитывается по формуле

$$R_0 = \frac{G \cos \beta - R \sin(\beta - \alpha)}{\cos(\beta - \gamma)}, \quad (3.23)$$

где

$$\begin{aligned} \beta &= 90^\circ + \psi - \varphi_1; & \alpha &= 90^\circ + \varphi - \psi; \\ \gamma &= \varphi_0 - \delta; & \beta - \alpha &= 2\psi_{cp} - \varphi - \varphi_1. \end{aligned}$$

Расчетный угол сдвига должен составлять 2/3 от действительного (тем самым учитывается изменение сцепления породы по толще слоя).

Формулой (3.19) можно пользоваться лишь в тех случаях, когда сцепление пород незначительно, т. е. когда второй член суммы в формуле (3.9) не превышает 10% от первого. Такое соотношение имеет место для крупных, гравелистых и средней крупности пород, мелких и пылеватых песков, а также для некоторых видов глинистых пород.

При большем влиянии сцепления строят диаграмму усилий с учетом его изменения по толщине переходного слоя (см. рис. 3.4). Для этого слой разбивают параллельно линии  $1-1'$  на несколько слоев толщиной  $s_1 = s/m$ , где  $m$  — число слоев; для практических расчетов его можно принять равным 4. Диаграмму строят последовательно для всех слоев, начиная со стороны завала. При этом для каждого слоя коэффициент сцепления  $c$  определяют по линейному графику, приведенному на рис. 3.4. По толщине одного такого слоя сцепление принимается постоянным, равным среднему, поэтому график изменения  $c$  получается ступенчатым.

При построении диаграммы усилий учитывают собственный вес отдельных слоев  $G_1, G_2, G_3$  и т. д. и вычисленные для каждого слоя углы наклона равнодействующих реактивных сил. При этом силы, реактивные для предыдущего слоя, принимаются в качестве активных для слоя последующего.

На рис. 3.5 приведена диаграмма усилий при разбивке переходной зоны на четыре слоя. Порядок построения диаграммы можно проследить по порядку цифр. Отрезки  $1-2, 2-5, 5-8, 8-11$  соответствуют собственному весу каждого слоя  $\bar{G}_1, \bar{G}_2, \bar{G}_3, \bar{G}_4, \bar{G}_5$ . Отрезки  $2-3, 5-6, 8-9, 11-12$  соответствуют равнодействующим давления —  $\bar{R}, \bar{R}_1, \bar{R}_2, \bar{R}_3, \bar{R}_4$ , а отрезки  $3-4, 6-7,$

9—10, 12—13 — равнодействующим реактивного отпора  $R_1, R_2, R_3, R_4$ , соответственно для четырех слоев. При этом по формуле (3.19) вычисляется только активная нагрузка на первый от завала слой  $R$  (отрезок 2—3). Далее построение осуществляется при условии, что отрезки 3—4 и 5—6, 6—7 и 8—9, 9—10 и 11—12 равны между собой (по закону действия и противодействия).

Искомые воздействия на перекрытие крепи  $\bar{R}_1^0, \bar{R}_2^0, \bar{R}_3^0, \bar{R}_4^0$  определяются послойно замером отрезков 1—4, 2—7, 5—10, 8—13, которые соответствуют равнодействующим горного давления в заданных интервалах.

Горное давление максимально на конце перекрытия со стороны завала и монотонно уменьшается по направлению к массиву, что обусловлено возрастанием сил сцепления в породах переходного слоя. Закон изменения горного давления вдоль перекрытия крепи довольно сложный, и в практических расчетах эпюра нагрузки на крепь может приниматься в виде трапеции, имеющей равнодействующую, равную сумме сил, определенных по предлагаемой методике.

При значительном влиянии сил сцепления давление на крепь в крайнем от массива слое и даже в нескольких прилегающих к нему слоях может быть близким к нулю или отрицательным. Это свидетельствует о том, что нагрузки от давления разрушенных пород и собственного веса этой части пород переходного слоя воспринимаются в заданном интервале полностью силами внутреннего трения пород и их сцеплением. В таком случае будем иметь треугольную эпюру нагрузки, распределенной только по части перекрытия.

Для более точного нахождения начала нагрузки необходимо рассматривать больше слоев. Если при построении диаграммы давление на крепь проявляется только в первом от завала слое и принимает нулевое или отрицательное значение, то имеет место случай, когда породы обладают большим сопротивлением сдвигу, благодаря чему плоскость скольжения 2—2' не образуется, а происходит плавный прогиб пластов породы как балок. Для таких условий предлагаемая методика определения нагрузки на присечную крепь, естественно, непригодна, поэтому необходимы другие расчетные схемы.

Если покрывающие угольный пласт породы состоят из пластов с резко отличающимися прочностными свойствами, то при расчетах разбивают покрывающую толщину на несколько горизонтальных слоев (рис. 3.6), в каждый из которых должны попасть породы с одинаковыми свойствами. После этого диаграммы усилий строят последовательно для каждого наклонного слоя, начиная от завала.

При этом методика построения диаграммы остается той же, кроме двух особенностей. Во-первых, на границах горизонталь-

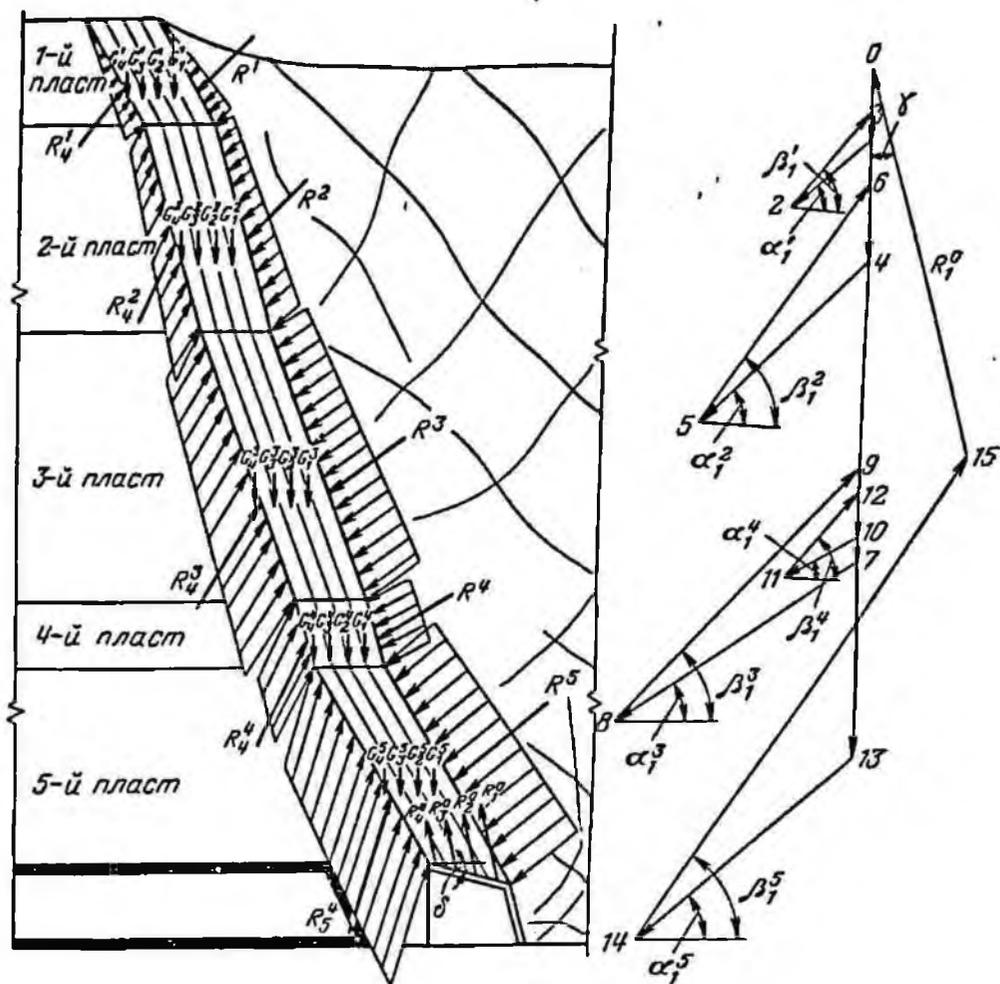


Рис. 3.6. Нагрузки на присечную крепь с разбивкой массива на горизонтальные слои

ных слоев вместо реакции крепи принимается направленная вверх реакция нижележащих пород, которая одновременно может считаться активной нагрузкой для нижележащего слоя (см. рис. 3.6). Во-вторых, давление разрушенных пород по поверхности скольжения  $2-2'$  для каждого горизонтального слоя определяется как давление грунта на наклонную подпорную стенку при наличии пригрузки. В этом случае расчетные формулы для  $i$ -го пласта имеют вид (3.20) — (3.22).

На рис. 3.6 приведена диаграмма усилий для одного из наклонных слоев (например первого от завала) при наличии пяти видов (пластов) покрывающих пород. Порядок построения диаграммы усилий ясен из рисунка. Отрезки  $0-1$ ,  $3-4$ ,  $6-7$ ,  $9-10$ ,  $12-13$  соответствуют собственному весу одного наклонного слоя в пределах первого, второго, третьего, четвертого и пятого породных пластов ( $G_1^1$ ,  $G_1^2$ ,  $G_1^3$ ,  $G_1^4$ ,  $G_1^5$ , здесь нижний индекс — номер наклонного слоя, верхний — номер породного пласта).

Отрезки 1—2, 4—5, 7—8, 10—11, 13—14 соответствуют равнодействующим давления в пределах тех же породных пластов ( $R^1, R^2, R^3, R^4, R^5$ ), определяемым по формуле (3.19).

Отрезки 2—3, 5—6, 8—9, 11—12, 14—15 отражают в масштабе величину равнодействующих реактивного отпора для рассматриваемого слоя (в данном случае — первого) в пределах каждого из породных пластов ( $R_1^1, R_1^2, R_1^3, R_1^4, R_1^5$ ).

Отрезки 0—3, 0—6, 0—9 и 0—12 равны давлению первого пласта на второй, второго на третий, третьего на четвертый и четвертого на пятый соответственно (их обозначим  $R_1^{1-2}, R_1^{2-3}, R_1^{3-4}, R_1^{4-5}$ ).

И, наконец, отрезок 15—0 соответствует реакции крепи от воздействия на нее рассматриваемого (первого) слоя  $R_1^0$ .

Аналогично строят диаграмму для второго слоя. Здесь надо иметь в виду, что при равной толщине наклонных слоев

$$\begin{aligned} G_1^1 &= G_2^1 = G_3^1 = \text{и т. д.} \\ G_1^2 &= G_2^2 = G_3^2 = \dots \\ G_1^3 &= G_2^3 = G_3^3 = \dots \\ G_1^4 &= G_2^4 = G_3^4 = \dots \end{aligned} \quad (3.24)$$

Кроме того, для второго от завала наклонного слоя активной нагрузкой являются реактивные для первого слоя силы  $R_1^1, R_1^2, R_1^3, R_1^4, R_1^5$ , принятые с обратным знаком; для третьего — реактивные силы второго слоя и т. д.

Отрицательные давления верхних пластов породы на нижние, а также кровли пласта на перекрытие крепи заменяют нулевыми значениями. Такой результат получается в тех случаях, когда вышележащие породы полностью воспринимают нагрузки, не передавая их на нижележащие пласты в области, прилегающей к выработке.

Давление первого сверху пласта породы на второй в пределах одного наклонного слоя (например первого) можно определить по формуле

$$R_1^{1-2} = G_1^1 - R^1 \left( \frac{\cos \alpha_1^1}{\cos \beta_1^1} \sin \beta_1^1 - \sin \alpha_1^1 \right). \quad (3.25)$$

Аналогично будем иметь

$$R_1^{2-3} = R_1^{1-2} + G_1^2 - R^2 \left( \frac{\cos \alpha_1^2}{\cos \beta_1^2} \sin \beta_1^2 - \sin \alpha_1^2 \right); \quad (3.26)$$

$$R_1^{3-4} = R_1^{2-3} + G_1^3 - R^3 \left( \frac{\cos \alpha_1^3}{\cos \beta_1^3} \sin \beta_1^3 - \sin \alpha_1^3 \right); \quad (3.27)$$

$$R_1^{4-5} = R_1^{3-4} + G_1^4 - R^4 \left( \frac{\cos \alpha_1^4}{\cos \beta_1^4} \sin \beta_1^4 - \sin \alpha_1^4 \right). \quad (3.28)$$

Давление первого наклонного слоя на верхняк крепи рассчитывается по формуле

$$R_1^0 = \frac{(R_1^{4-5} + G) \cos \beta_1^5 - R^5 \sin(\beta_1^5 - \alpha_1^5)}{\cos(\beta_1^5 - \gamma_1^5)} \quad (3.29)$$

Аналогичные формулы можно составить и для других наклонных слоев, используя соответствующие углы наклона сил на диаграмме.

Предлагаемая схема позволяет для каждого конкретного случая определять ожидаемые нагрузки на присечную крепь.

### 3.3. Конструкции крепей

На шахтах Подмосковского бассейна применяется множество различных видов и конструкций крепей, которые подразделяются на рамные, секционные (блочные) и монолитные. Изготавливаются они из дерева, металла, железобетона и бетона. В зависимости от преобладания в конструкции того или другого материала крепи соответственно делятся на деревянные, металлические (рамные и секционные), железобетонные (рамные, блочные или монолитные), бетонные (сборные или монолитные). Изготовленные из разнородных материалов крепи называют смешанными.

Замкнутые и незамкнутые конструкции крепей могут быть трапецевидной, прямоугольной, арочной, полигональной и кольцевой форм поперечного сечения с жесткой, податливой, ограниченно- и шарнирно-податливой характеристикой работы при взаимодействии с боковыми породами.

Рамная крепь подготовительных выработок состоит из основных несущих элементов (рам) и вспомогательных: затяжки, межрамных распорок или стяжек, клиньев и поясков. Основные несущие элементы (рамы) служат для восприятия горного давления, возникающего на контуре выработки. Как правило, их устанавливают вразбежку с одинаковым расстоянием между центрами стоек. В отдельных случаях рамы возводят спаренными или строеными, т. е. две или три рамы устанавливают рядом, через определенный зазор по длине выработки снова возводят рядом стоящие рамы.

Вспомогательными элементами защищают рабочее пространство выработки от проникновения в нее боковых пород, соединяют рамы между собой и раскрепляют их с контуром выработки, а также обеспечивают возможность выполнения технологических операций при возведении крепи.

Деревянная рамная крепь в основном применяется для крепления выемочных выработок на шахтах Подмосковского бассейна. К достоинствам ее относятся низкая стоимость, простота конструкции, возможность изготовления непосредственно в забое,

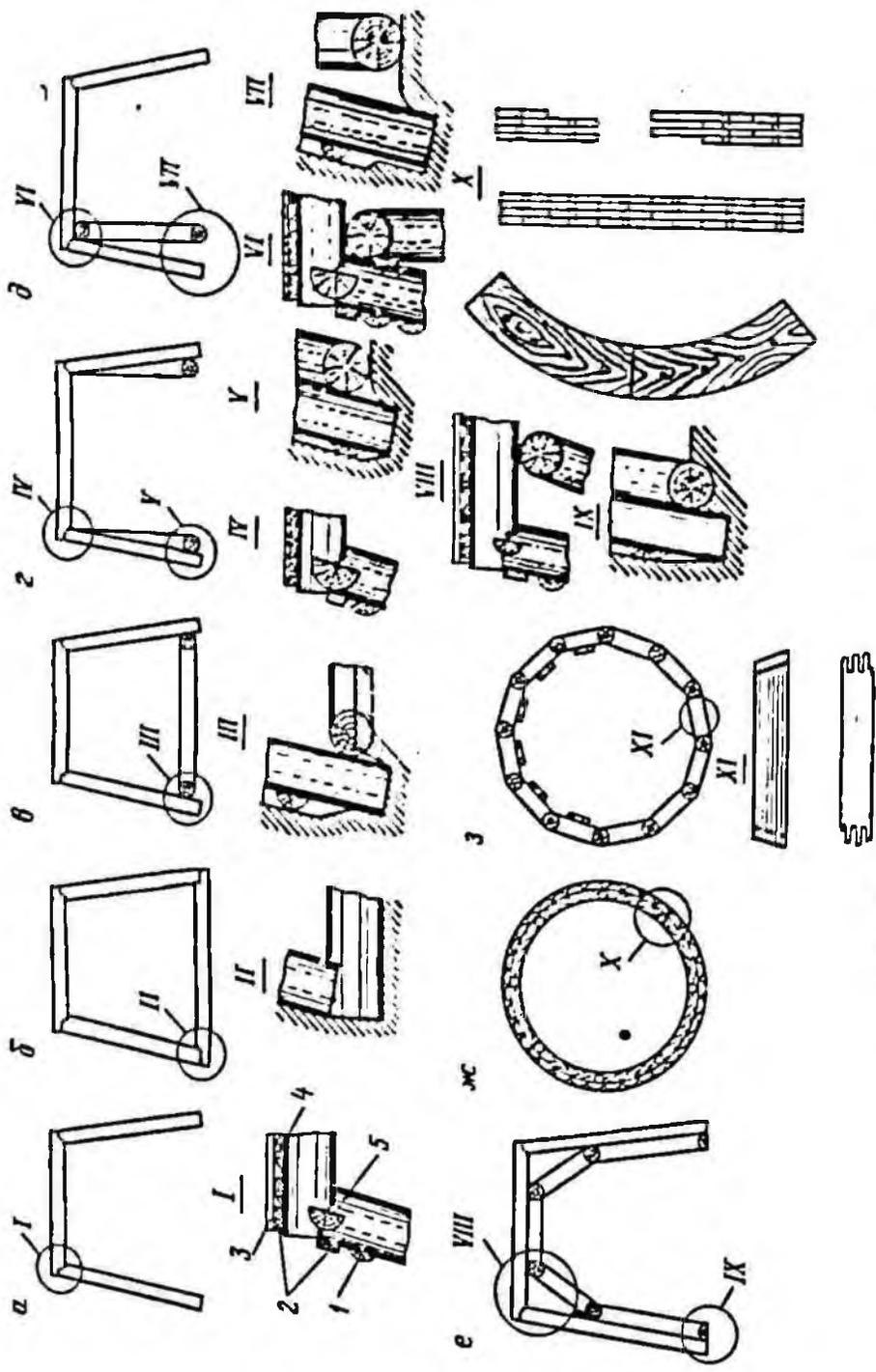


Рис. 3.7. Конструкции деревянных креплений:  
 а — незамкнутая рама; б, в — замкнутая рама; г, д — рама, усиленная прогонами; е — рама, усиленная подкосами;  
 ж — кольцевая рама; з — полигональная рама; и — затяжка бока выработки; к — клинья; л — помсок; м — затяжка  
 крошлы; н — межрамная распорка; о — х/х — замки

легкость возведения. Недостатки крепи проявляются в невысокой несущей способности и снижении ее от времени эксплуатации выработки, малой податливости, возгораемости (низкой огнестойкости), невозможности повторного использования по прямому назначению.

Рама деревянной крепи (рис. 3.7) может быть незамкнутой (неполный дверной оклад — НДО) и замкнутой (полный дверной оклад — ПДО). Она изготавливается из круглого леса (рудничной стойки). Угол наклона стоек трапецевидной рамы составляет 75—80°.

Податливость обеспечивается за счет вдавливания стоек в почву выработки, смятия дерева и пород на контуре выработки и заполнения породой пустот между крепью и боковыми стенками штрека. Исключительно редко при наличии в почве выработки плотных и прочных пород нижние концы стоек заостряют в виде конуса или клина.

При повышенном горном давлении или увеличенной длине верхняка применяют усиленную крепь. Существуют самые разнообразные конструкции усиления — одним, двумя или тремя прогонами (рис. 3.7, г, д), подкосами (рис. 3.7, е), отдельными стойками и пр.

Стойки с верхняками и лежнем основных рам, а также элементы крепи усиления соединяют специальными замками, конструкция которых выбирается в зависимости от направления действия преобладающего горного давления и назначения соединяемых элементов. Клинья при расклинивании рам забивают в районе соединительных замков. Затяжку по контуру рам устанавливают сплошную (по кровле) или вразбежку (по бокам).

Из деревянных конструкций наиболее распространена трапецевидная крепь. В отдельных случаях используют прямоугольную, кольцевую и полигональную.

Кольцевая деревянная рама (рис. 3.7, ж) изготавливается из досок толщиной 60 мм, скрепленных гвоздями таким образом, чтобы при соединении сегментов образовывались нахлесты, обеспечивающие прочность кольца.

Полигональная деревянная рама (рис. 3.7, з) собирается из отдельных элементов, соединяемых в клин. Может быть и другая конструкция соединительного узла. Кольцевая и полигональная крепи применяются в условиях усиленного всестороннего горного давления при наличии пучащих пород.

Металлическая рамная крепь — один из наиболее эффективных видов крепи подготовительных выработок. Она обладает большой несущей способностью, технологична в изготовлении и удобна в возведении, легко извлекается при погашении или ремонте выработок и восстанавливается для повторного использования, применима для широкого диапазона горно-геологических условий с длительным (до 20—26 лет) сроком службы вырабо-

ток. К недостаткам крепи следует отнести значительный вес элементов рам, подверженность коррозии (особенно в агрессивных средах), повышенную по сравнению с деревянной крепью трудоемкость возведения.

Рамы металлической крепи изготавливают жесткой, податливой и ограниченно-податливой конструкции. Отдельные виды крепей, кроме податливости, имеют шарнирные узлы. На шахтах Подмосквитного бассейна применяют трапециевидные, арочно-трапециевидные, бочкообразные, полигональные, арочные и кольцевые металлические крепи. Рамы между собой соединяют межрамными металлическими стяжками или расклинивают деревянными распорками из круглого леса диаметром 14—16 см. Поясок и клинья изготавливают из дерева. В главных выработках промежуток между рамами перекрывают железобетонными затяжками, а также в выемочных штреках в пределах охранных целиков выработок главных направлений и в камерах для приводов ленточных конвейеров, а на остальной длине забирают досками или обаполами.

Приведенные ниже конструкции металлических крепей изготавливаются по заказам шахт рудоремонтными заводами и центральными электромеханическими мастерскими (ЦЭММ) производственных объединений по добыче угля и шахтостроительного комбината.

Трапециевидная крепь относительно проста в изготовлении и установке, позволяет более целесообразно использовать поперечное сечение выработки. Применение ее обеспечивает удобство обработки контура выработки и возможность формирования кровли по напластованию пород, хорошее сопряжение штрека с лавой и механизированными крепями сопряжения, удобное извлечение при погашении выработки. Однако несущая способность ниже, чем у арочной и кольцевой крепей.

Жесткая трапециевидная крепь изготавливается из двутавровых балок № 18 и 20 общего назначения или из специального взаимозаменяемого профиля (СВП). Ее применяют в выработках, не подверженных влиянию очистных работ, т. е. в выработках главных направлений, а также в последнее время — в выемочных штреках с легкими условиями поддержания.

Рама крепи состоит из двух стоек и верхняка, соединенных между собой замком. Преимущество ее в простоте конструкции. Однако жесткая рабочая характеристика приводит к значительным деформациям при повышенном горном давлении и увеличению трудоемкости работ при извлечении.

Податливая трапециевидная крепь изготавливается в основном из проката открытого специального взаимозаменяемого профиля, реже из квадратного замкнутого профиля. В отдельных случаях ее делают из двутавровых балок общего назначения в сочетании со спецпрофилем СВП. Рамы

ТАБЛИЦА 3.6

Показатели	Трапецевидная металлическая крепь					
	МИК-4б	МИК-4с	МИК-П	ТИК	ТКК	ТПК
Площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	7,3	8,5	8,5	7,8	6,49	7,54
Ширина крепи в свету, м:						
по верху	2—2,2	2,1—2,4	—	2,15— —2,4	2,16— —2,4	1,35
по низу	2,85	2,9—3,2	—	2,85— —3,15	2,9— —3,1	3,43
Конструктивная податливость крепи, мм:						
вертикальная	600	700	700	700	600	150
горизонтальная	100	100	100	150	150	100
Несущая способность рамы, кН:						
со стороны кровли без усиления	100—200	100—200	100—200	140— —200	120— —230	150—220
со стороны боков выработки без усиления	40—70	40—70	40—70	50—70	50—85	60—100
Масса рамы в сборе (без стяжек и усиления), кг	131	178—332	179	204— —295	251	173

бывают незамкнутой и замкнутой конструкций, состоят из цельного верхняка и двух стоек, включающих по два элемента каждая, которые соединены внахлест специальными замками различных исполнений. В замкнутой раме дополнительно устанавливается лежень. В условиях значительного горного давления и при большой ширине выработки рамы усиливают дополнительными стойками или подкосами.

Техническая характеристика различных типов и типоразмеров трапецевидных металлических крепей приведена в табл. 3.6.

Трапецевидная металлическая инвентарная крепь МИК-4 имеет два исполнения (МИК-4б и МИК-4с) [12], которые отличаются конструкцией податливой стойки. Они предназначены для многократного использования при креплении горизонтальных и наклонных (до 18°) выемочных выработок при отсутствии значительного давления с боков выработки и лущения пород почвы.

Рама крепи МИК-4 (рис. 3.8) состоит из прямолинейного верхняка и двух податливых стоек. Верхняк в обеих конструкциях унифицирован, изготавливается из отрезка спецпрофиля СВП, фланцы которого обращены вниз. Для увеличения несущей способности его среднюю часть заваривают в короб пластиной. На концах верхняка приварены упорные пластины, которые снабжены отверстиями для крепления межрамных стяжек.

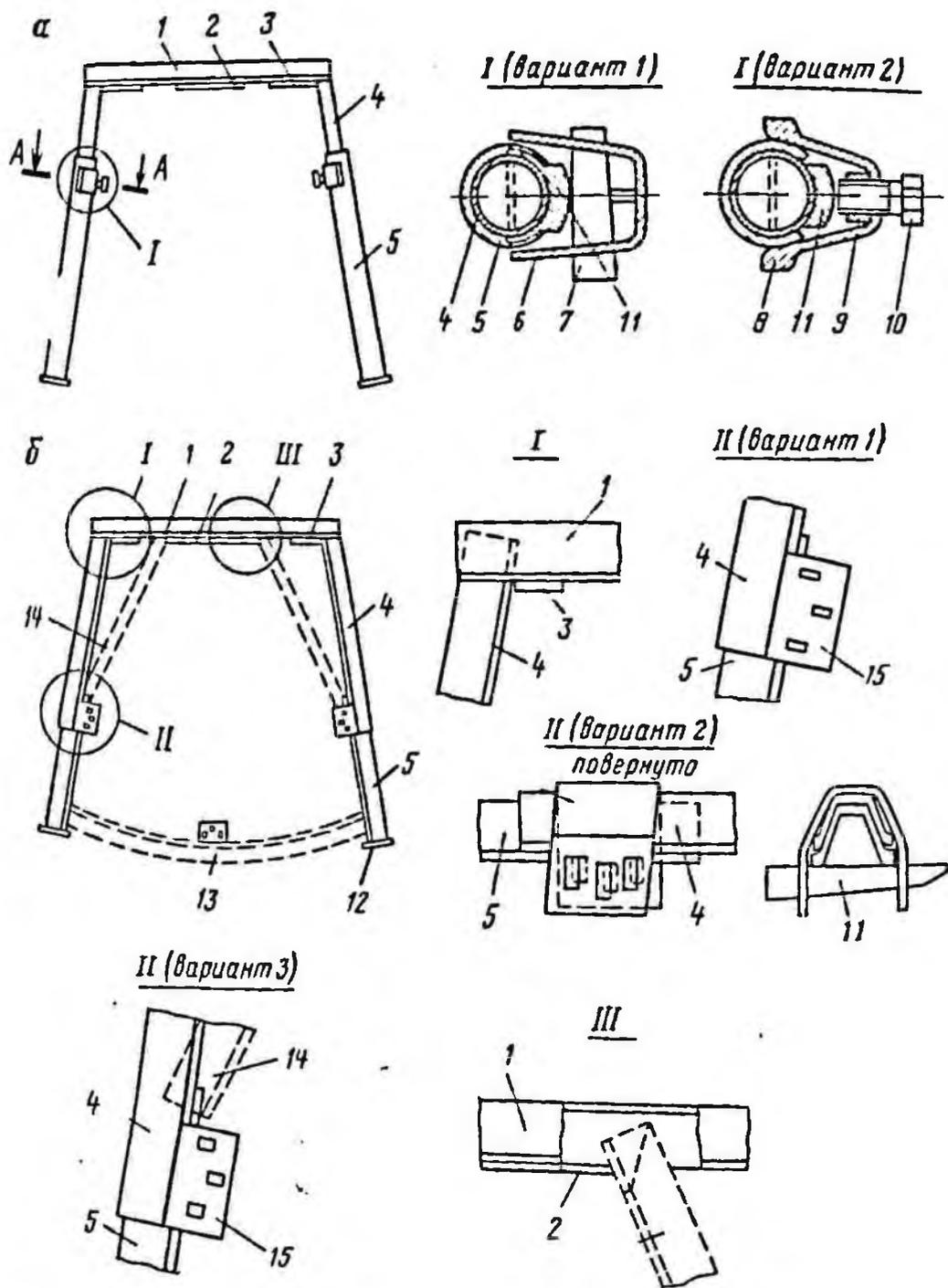


Рис. 3.8. Схемы металлических инвентарных креплений МИК-4:

а — рама МИК-4б (узел I, вариант 1 — клиновой узел податливости; узел I, вариант 2 — болтовой узел податливости); б — рама МИК-4с (узел II, вариант 1 — узел податливости с приваренными пластинами, узел II, вариант 2 — узел податливости с накладной скобой); 1 — верхняк; 2 — усиливающая пластина; 3 — упорная пластина; 4 — выдвижная часть стойки; 5 — основание стойки; 6, 8 — скоба; 7 — клин; 9 — гайка; 10 — болт; 11 — вкладыш; 12 — пластина; 13 — лежень; 14 — подкос; 15 — пластины с прорезями

Для крепи МИК-4с элементы стоек изготавливаются из прямолинейных отрезков спецпрофиля СВП и соединяются между собой внахлест, для крепи МИК-4б — из низколегированных бесшовных катаных труб, соединенных телескопически. Для соединения стоек с верхняком в крепи МИК-4с стенки и фланцы спецпрофиля верхней части стоек сплющиваются симметрично продольной оси, что позволяет ввести торец стойки внутрь верхняка (рис. 3.8, б, узел I). В стойки из труб к верхним их торцам приваривают отрезки из спецпрофиля СВП, которые служат опорой для верхняка.

Сопrotивление стоек обеспечивается силами трения в узлах податливости. В крепи МИК-4с узел податливости (рис. 3.8, б, узел II, вариант 2) состоит из скобы с прорезями и двух клиньев. Вместо скобы можно использовать две пластины с прорезями, которые приваривают к фланцам выдвижной части стоек (рис. 3.8, б, узел II, вариант 1).

Для обеспечения надежной работы узла с постоянным сопротивлением клинья располагают под острым углом к продольной оси стойки и устанавливают вершинами в направлении их смещения. Величина сжимающих усилий в узле зависит от степени затяжки клиньев. В трубчатой стойке крепи МИК-4б узел податливости состоит из приваренной к трубе основания скобы (см. рис. 3.8, а, узел I) с прорезями под два распорных клина или скобы с приваренной внутри гайкой под болт. В трубе основания под скобой имеется прямоугольное отверстие для вкладыша, с помощью которого зажимается выдвижная часть стойки. В нижней части стойки приваривается пластина, площадь опоры которой составляет 100—400 см<sup>2</sup>.

Для крепи из спецпрофиля СВП разработан составной лежень (см. рис. 3.8, б), который комплектуется из двух взаимозаменяемых частей, соединенных внахлест. Соединение лежня со стойками путем введения его концов внутрь профиля основания стоек позволяет ему при значительных нагрузках со стороны почвы выработки скользить вверх по стойкам, одновременно сокращаясь по длине.

Крепь МИК-4с может использоваться со специальными усиливающими элементами (подкосами), которые позволяют увеличивать несущую способность верхних и боковых элементов в 1,5—2 раза, сохраняя заданную податливость крепи. Усиливающие элементы устанавливают только в зоне влияния очистных работ и перемещают на следующие рамы по мере подвигания очистного забоя и извлечения крепи. Их ставят нижней частью на пластины узла податливости стоек (см. рис. 3.8, б, узел II, вариант 3), а верхнюю часть вводят внутрь профиля верхняка до упора в его полку и край средней усиливающей пластины (рис. 3.8, б, узел III).

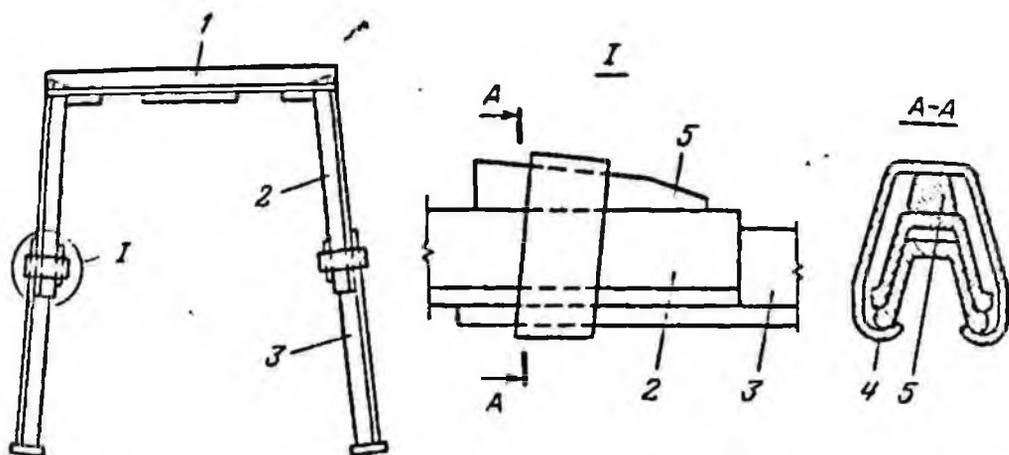


Рис. 3.9. Схема металлической инвентарной крепи МИК-П:  
 1 — верхняк; 2 — верхняя часть стойки; 3 — нижняя часть стойки; 4 — скоба; 5 — клин

Металлическая инвентарная крель МИК-П (рис. 3.9) по назначению и конструктивному исполнению несущих элементов рамы аналогична крепи МИК-4с за исключением соединения элементов стоек с помощью одноклинового замка с вертикальным расположением клина. Крель изготавливается из спецпрофилей СВП17 и СВП22, которые установлены на стойках фланцами к породам контура выработки. Выпускается и комбинированная конструкция: стойки из спецпрофиля СВП17, а верхняк из спецпрофиля СВП22 или СВП27. Работа узла податливости зависит от схемы сборки стойки.

Трапецевидная инвентарная крель (ТИК) предназначена для многократного использования при креплении съемочных штреков, погашаемых одновременно с подвиганием очистного забоя, а также для выработок, сохраняемых для повторного использования на границе с выработанным пространством. В последнем случае крель ТИК изготавливается из спецпрофиля СВП27, а для выработок, погашаемых одновременно с подвиганием очистного забоя, — из спецпрофиля СВП17. В зависимости от условий поддержания крель может быть комбинированной: стойки изготавливаются из спецпрофиля СВП17, а верхняк из спецпрофилей СВП22 и СВП27.

Применяемые несколько модификаций крепи различаются между собой конструктивным исполнением узла соединения верхняка со стойками, положением на них фланцев спецпрофиля СВП (к боковым породам контура выработки или во внутрь ее), наличием или отсутствием лежней, наличием элементов усиления верхняка и стоек (пластины, откосные и пр.). Все модификации разделяются на две группы: в первой группе верхняк расположен фланцами к боковым породам контура выработки, а во второй — во внутрь выработки.

Крепь ТИК-10 относится к первой группе. Рама ее (рис. 3.10, а) состоит из верхняка, двух стоек, каждая из которых содержит верхний и нижний элементы, соединенные внахлест с помощью замков. Нижний элемент стойки снабжен жестко соединенной опорной пятой, которая препятствует вдавливанию крепи в почву выработки.

К верхнему элементу приварен вкладыш (узел I, вариант 1) из отрезка спецпрофиля СВП, служащий для соединения стойки с верхняком. Приваренный на верхняке упор препятствует перемещению стоек внутрь выработки. Спецпрофиль на верхняке и стойках расположен фланцами к боковым породам контура выработки.

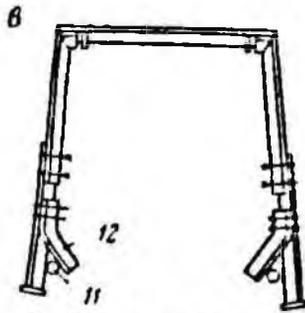
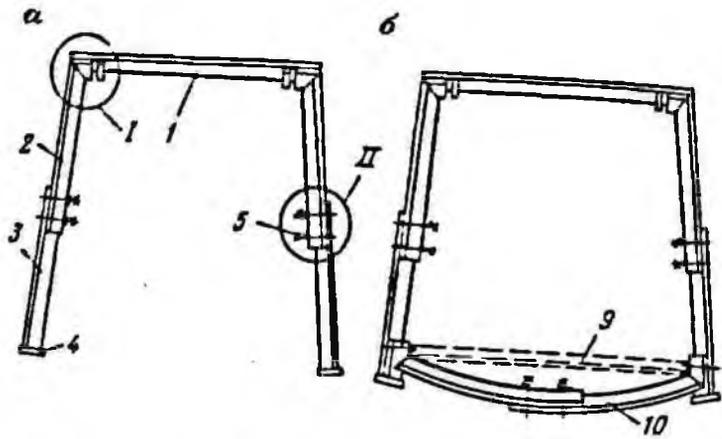
Узел соединения верхняка со стойкой может выполняться по варианту 2 или 3. В этих случаях исключается трудоемкая работа по выполнению косых срезов на верхнем элементе стойки и вкладыше, а наличие планки (вариант 3) повышает надежность соединения. Эта планка изготавливается укороченной с длиной, равной ширине спецпрофиля СВП, или удлиненной с двумя отверстиями для соединения межрамных стяжек.

Вертикальная конструктивная податливость крепи осуществляется за счет скольжения внахлестке верхнего и нижнего элементов, горизонтальная — за счет образования зазора между вкладышем и упором.

Для применения крепи в выработках со слабыми или склонными к пучению породами почвы, рамы могут комплектоваться поперечными (прямолинейными и криволинейными выположенными) лежнями (рис. 3.10, б) или продольными лежнями, укладываемыми под боковые опоры (рис. 3.10, в). Поперечные лежни собирают из двух одинаковых конструкций элементов, изготовленных из спецпрофиля СВП, которые между собой и со стойками рамы соединяются с помощью замков (см. рис. 3.10, а, узел II). Для продольных лежней в выемочных выработках используют круглый лес (рудничные стойки) диаметром 16—20 см и длиной более 2 м. Боковые опоры изготавливают из спецпрофиля СВП.

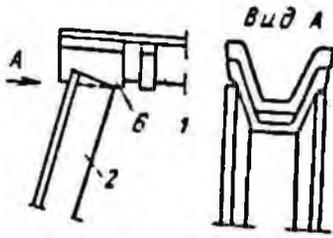
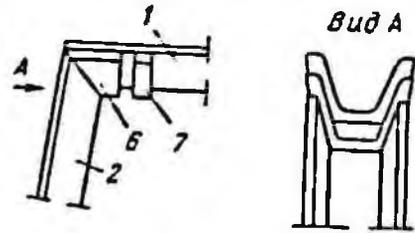
Во всех модификациях крепи ТИК могут применяться как клиновые, так и болтовые замки. Наибольшее распространение получили болтовые замки с фигурной планкой (см. рис. 3.10, узел II, вариант 1) и одноклиновые с горизонтальным расположением клина (см. рис. 3.10, узел II, вариант 2). Для монтажа межрамных стяжек используют рядовые широко известной конструкции болтовые замки с плоской планкой.

Болтовой замок с фигурной планкой состоит из фигурной (гнутой) планки с двумя отверстиями, которая охватывает наружную поверхность профиля СВП, и скобы, выполненной из круглого проката и имеющей на концах резьбовые участки, а также двух гаек.

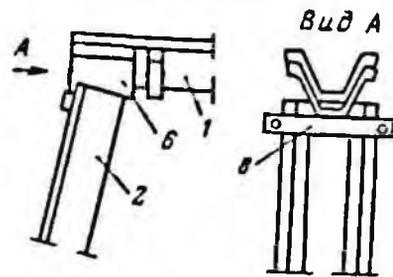


I Вариант 2

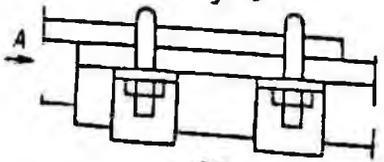
I (Вариант 1)



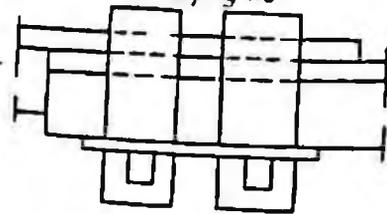
I (Вариант 3)



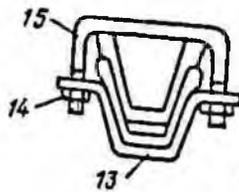
II (Вариант 1 повернуто)



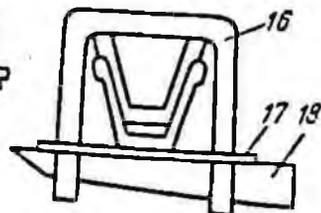
II (Вариант 2) повернуто



Вид А



Вид Б



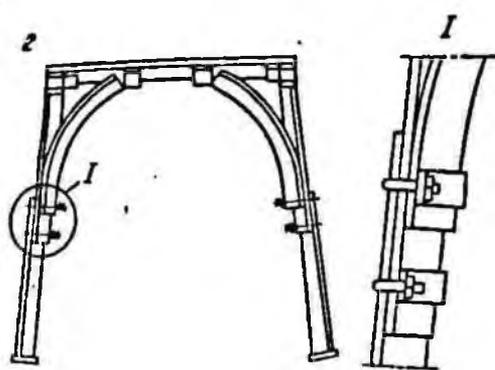


Рис. 3.10. Схема трапециевидной инвентарной крепи ТИК-10:

а — незамкнутая рама; б — замкнутая рама; в — незамкнутая рама с продольным лежнем; 2 — рама, усиленная подкосом; 1 — верхняк; 2 — верхняя часть стойки; 3 — нижняя часть стойки; 4 — опорная пятя; 5 — замки (узел II, вариант I, вариант 2 — клиновой); 6 — вкладыш; 7 — упор; 8, 17 — планки; 9 — прямолинейный лежень; 10 — выположенный лежень; 11 — продольный лежень; 12 — боковая опора; 13 — фигурная планка; 14 — гайка; 15, 16 — скобы; 18 — клин

Клиновый замок содержит П-образную скобу, изготовленную из полосовой стали со сквозными отверстиями под клин, и планки с двумя отверстиями для монтажа ее на скобе.

В каждом податливом узле устанавливаются по два замка (болтовых или клиновых). Размеры деталей выбирают в зависимости от типа применяемого спецпрофиля СВП в податливом узле. Как правило, замки изготавливают из стали марок СтЗпс или СтЗсп.

Для усиления верхняков крепи ТИК приваривают пластины, образующие замкнутый профиль по типу крепи МИК, или применяют криволинейные подкосы (рис. 3.10, з).

Ко второй группе относятся крепи ТИК-12 и ТИК-14. В крепи ТИК-12 (рис. 3.11, а) верхняк повернут фланцами во внутрь выработки (так же, как в крепи МИК-4с), а стойки расположены фланцами к породам контура выработки. Верхняя часть стойки сплющена так, что свободно вставляется во внутрь профиля верхняка (узел I, вариант 1). От бокового перемещения она удерживается с помощью планки, длина которой может быть равна ширине спецпрофиля или больше на величину, необходимую для пробивки двух отверстий по концам, которые используются для крепления межрамных стяжек.

Конструкция крепи ТИК-14 (рис. 3.11, б) в основном аналогична конструкции крепи МИК-4с, но в отличие от нее в узле податливости применен вкладыш из спецпрофиля, который установлен внахлест во внутрь нижней части стойки. Вкладыш во фланцах имеет пазы, с помощью которых он удерживается в узле податливости одним горизонтально расположенным клином. Благодаря этому достигается высокое рабочее сопротивление крепи.

Металлическая трапециевидная крепь из коробчатого профиля ТКК предназначена для крепления и поддержания однопутных (с рельсовой колеей 600 и 900 мм) подготовительных выработок, проводимых в целиках или вприсечку к выработанному пространству, вне зоны и в зоне влияния очистных работ и вне ее в легких, средних и тяжелых условиях поддержания. Крепь ТКК представляет собой отдельные рамы (рис. 3.12), устанавливаемые вразбежку. Элементы крепи изго-

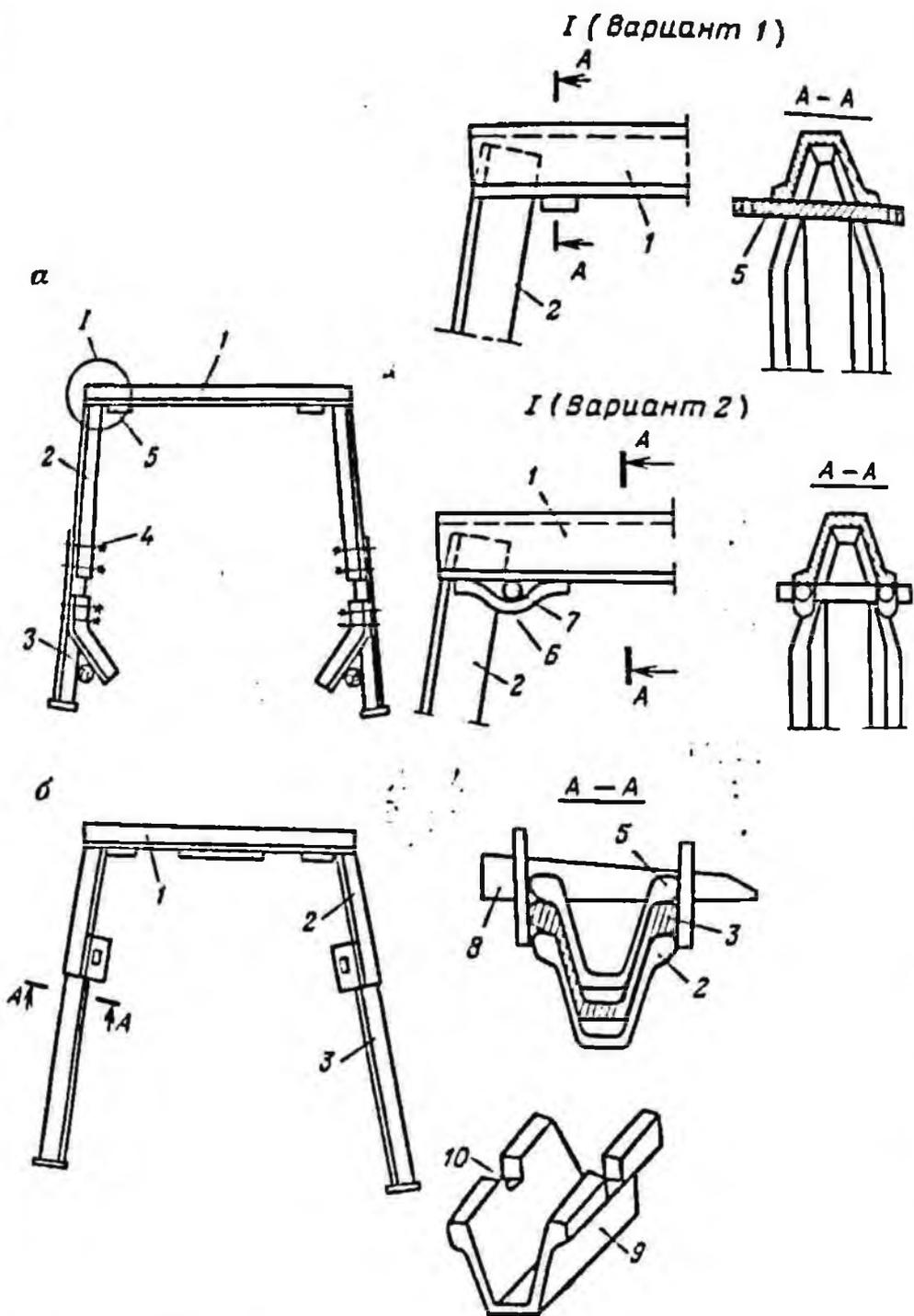


Рис. 3.11. Схемы трапециевидных инвентарных креплений: ТИИ-12 (а); ТИИ-14 (б);  
 1 — верхняя планка; 2 — верхняя часть стойки; 3 — нижняя часть стойки; 4 — шпилька;  
 5 — упорная планка; 6 — скоба; 7 — полка; 8 — клин; 9 — вкладыш; 10 — гайка.

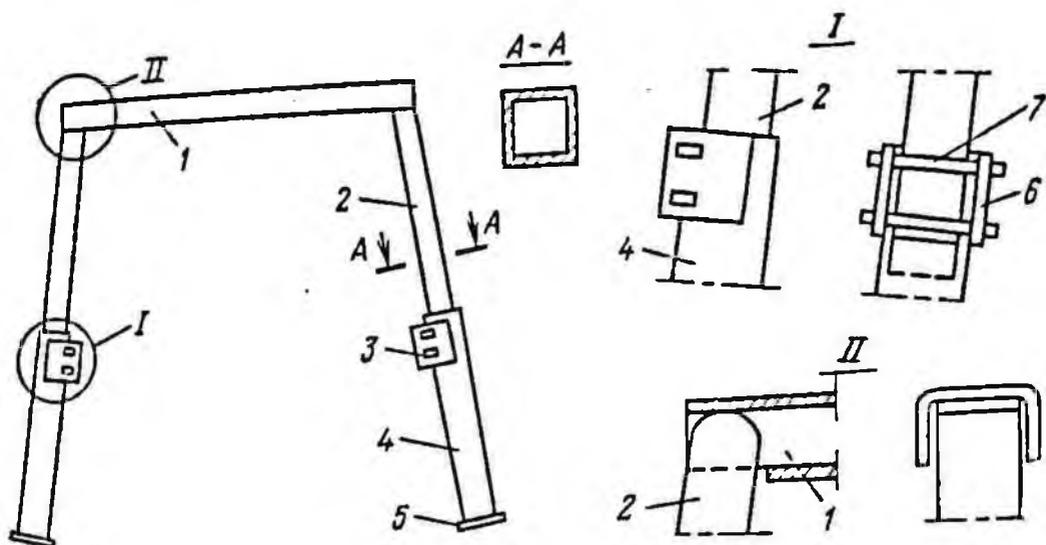


Рис. 3.12. Схема трапецевидной крепи из коробчатого профиля ТКК:  
 1 — верхняк; 2 — верхняя часть стойки; 3 — замок клиновой; 4 — нижняя часть стойки;  
 5 — опорная пятя; 6 — пластина; 7 — клин

тавливают из замкнутого коробчатого холодногнутого профиля квадратного сечения. Верхняк и нижнюю часть стойки изготавливают из профиля  $140 \times 140$  мм, верхнюю часть стойки — из профиля  $120 \times 120$  мм. Замок (см. рис. 3.12, узел I) состоит из двух металлических пластин с прорезями, приваренных к нижней части стойки, и двух распорных клиньев, с помощью которых фиксируются части стоек в раздвинутом положении. В месте установки клиньев грань профиля удалена. На концах верхняка одна из граней короба вырезана на длину 140 мм для размещения верхней части стойки (см. рис. 3.12, узел II), что обеспечивает простое шарнирное соединение верхняка со стойками.

Податливость крепи осуществляется за счет проскальзывания в замковом соединении верхней части стойки относительно нижней. Рабочее сопротивление ее зависит от силы прижатия клиньев.

Существующие крепи, изготавливаемые из открытого профиля СВП, имеют малую сопротивляемость кручению. Повышение устойчивости на кручение открытого профиля за счет увеличения момента сопротивления изгибу ведет к неоправданному расходу металла. Применение же замкнутого профиля значительно повышает несущую способность крепи при одновременном снижении расхода металла.

Крепь складывающаяся трапецевидная КСТ предназначена для крепления выемочных выработок, поддерживаемых на границе массива угля с выработанным пространством в условиях слабых вмещающих пород при столбовой системе разработки с повторным использованием штреков и при совмещенной технологии выемки угля без предварительного проведения выемочных выработок. Она представляет собой замкнутую

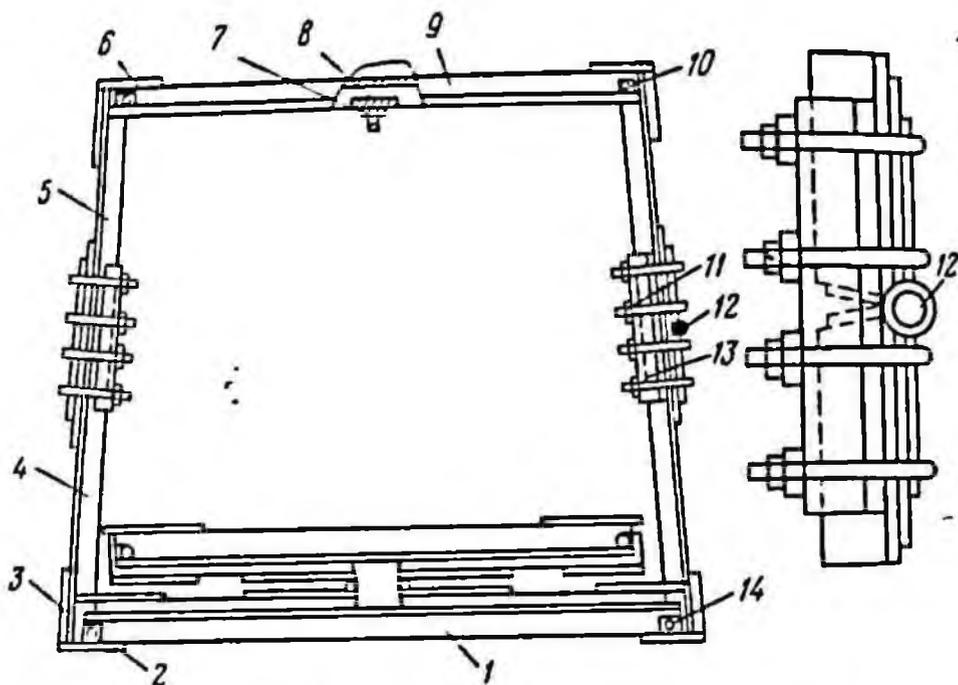


Рис. 3.13. Схема трапециевидной складывающейся крепи КСТ:

1 — лежень; 2 — подпяточная накладка; 3, 6 — полосы жесткости; 4 — нижняя часть стойки; 5 — верхняя часть стойки; 7 — болт; 8 — планка; 9 — верхняк; 10, 12, 14 — шарнирные узлы; 11 — замок; 13 — вкладка

рамную конструкцию (рис. 3.13), изготовленную из специального взаимозаменяемого профиля СВП27 [1]. Верхние и нижние части стоек соединены между собой, а также с верхняком и лежнем с помощью цилиндрических шарнирных узлов, которые позволяют складывать раму из рабочего положения в транспортное и обратно. Боковые шарнирные узлы при рабочем положении рамы скрепляются накладками и замками, конструкция которых позволяет устанавливать деревянные или резиновые прокладки для податливости элементов. Концы стоек в месте соединения с лежнем и верхняком скруглены, снабжены продольными отверстиями и сплющены для установки их во внутрь профиля.

Рамы крепи могут усиливаться путем установки гидравлических индивидуальных стоек ГСК, ГСУ и др. Между собой они соединяются: по бокам — стяжками, которые устанавливают в боковых замковых соединениях, сверху — стяжками, скрепляющимися специальными болтами, приваренными к планкам. Для усиления лежня в средней его части приварена пластина. Податливость обеспечивается за счет деревянных прокладок и продольных отверстий на концах стоек.

Крепь собирается на заводе и в сложенном виде доставляется на шахту и в забой.

По сравнению с применяемыми конструкциями крепь КСТ имеет следующие преимущества: обладает высокой несущей способностью, меньшей трудоемкостью при возведении и демонтаже,

удобна в доставке, легко пакетируется, окладывается, не требует создания сложных средств механизации при установке в рабочее положение, полностью изготавливается на заводе, обеспечивает хорошее сопряжение лавы со штреком и возможность применения существующих механизированных крепей сопряжения, извлекается при погашении выработки в собранном виде и используется многократно. Однако из-за отсутствия средств механизации она трудоемка при возведении.

#### Техническая характеристика крепи

Форма крепи в поперечном сечении . . . . .	Трапецевидная
Характеристика крепи . . . . .	Ограниченно-податливая
Конструктивное исполнение . . . . .	Складывающаяся
Податливость крепи, мм:	
вертикальная . . . . .	100
горизонтальная . . . . .	100
Площадь поперечного сечения в свету, м <sup>2</sup>	6,5
Высота крепи в свету, мм . . . . .	2275
Ширина крепи в свету, мм:	
по верхняку . . . . .	2300
по лежню . . . . .	2875
Несущая способность одной рамы, установленной вприсечку к выработанному пространству, кН:	
со стороны кровли на верхняк без усиления . . . . .	130—170
со стороны боков выработки на стойки без усиления . . . . .	70—90
со стороны почвы выработки на лежень без усиления . . . . .	90—130
Масса одного комплекта крепи, кг . . . . .	441

Разработана вторая аналогичная конструкция складывающейся податливой крепи КСТ-П, рама которой отличается от КСТ тем, что верхние части стоек выполнены из двух элементов, соединенных между собой внахлестку болтовыми замками с фигурными планками. За счет их взаимного проскальзывания обеспечивается конструктивная податливость крепи. Замки создают при этом необходимое и достаточное (80—140 кН каждый) сопротивление при работе рамы в податливом режиме. Кроме того, лежень рамы выполнен составным из двух одинаковой конструкции элементов, соединенных внахлестку болтовыми замками с фигурной планкой.

К трапецевидным можно отнести трапецевидную крепь ТСК с сегментным верхняком. От описанных ранее крепей аналогичной формы она отличается криволинейным (в виде сегмента) исполнением верхняка, что повышает его несущую способность. Благодаря этому отпадает надобность в дополнительном усилении полосами, что делает крепь более простой в изготовлении и менее металлоемкой. Кроме того, наличие

кривизны на верхняке большого радиуса позволяет снижать объем вынимаемой горной массы при проведении по сравнению с арочной крепью и в то же время создает хорошие условия для подвески троллейного провода.

Трапециевидно-полигональная металлическая крепь ТПК предназначена для крепления однопутных подготовительных выработок при горизонтальном и наклонном (до  $15^\circ$ ) проведении в легких и средних условиях поддержания, не подверженных и подверженных при эксплуатации влиянию очистных работ. Она изготавливается из спецпрофиля СВП17 и СВП22, обладает ограниченно-податливой рабочей характеристикой.

Рама крепи представляет собой незамкнутую конструкцию (рис. 3.14). К нижнему торцу стоек приварены подпятники, а для повышения прочности рамы к средней части верхняка и стоек приварены металлические пластины.

Концы верхняка и верхняя часть стоек отогнуты на  $39^\circ$ , соединяются внахлестку и стягиваются замками, образуя узлы податливости. Податливость в местах соединения верхняка со стойками обеспечивается за счет их взаимного прямолинейного проскальзывания. В выработках со слабыми породами, низкой несущей способностью почвы с внутренней стороны стоек крепи укладывают продольные деревянные лежни диаметром 18—20 см, удерживаемые боковыми опорами. Боковые опоры изготавливают из отрезков спецпрофиля СВП17 длиной 800 мм, которые изгибаются под углом  $45^\circ$  и крепятся к стойке с помощью двух болтовых замков с фигурной планкой.

Крепь ТПК имеет ограниченную вертикальную податливость (до 150 мм) за счет перемещения элементов в узлах податливости и горизонтальную (до 100 мм) в верхней части выработки в результате поворота стоек вокруг опорной пяты. Главное достоинство крепи — укороченная прямолинейная часть верхняка, что значительно повышает его жесткость и позволяет воспринимать повышенные изгибающие моменты.

Металлическая инвентарная бочкообразная крепь МПК-5 предназначена для крепления выемочных выработок, поддерживаемых в зоне влияния очистных работ и вне ее.

Рама крепи (рис. 3.15) представляет собой бочкообразную замкнутую конструкцию [12], состоящую из прямолинейного верхняка, цельного криволинейного лежня и двух податливых криволинейных стоек. Податливый узел размещен в нижней части выработки.

Основной особенностью крепи является расположение фланцев спецпрофиля на всех элементах рамы во внутрь выработки. Это предопределило ее унификацию с другими крепями типа МПК. В частности, конструкция верхняка, узлов соединения его стойками, а также нижних частей стоек с лежнем выполнены

Рис. 3.14. Схема трапецевидно-полигональной крепи ТПК:

1 — верхняк; 2 — замок; 3 — стойка;  
4 — усиливающая пластина; 5 — опорная пята;  
6 — боковая опора; 7 — продольный лежень

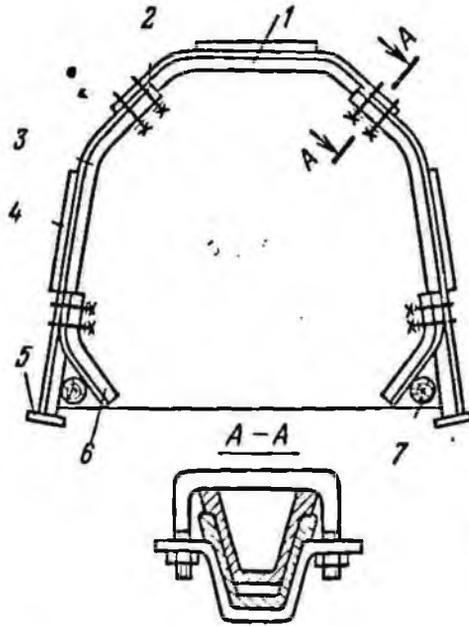
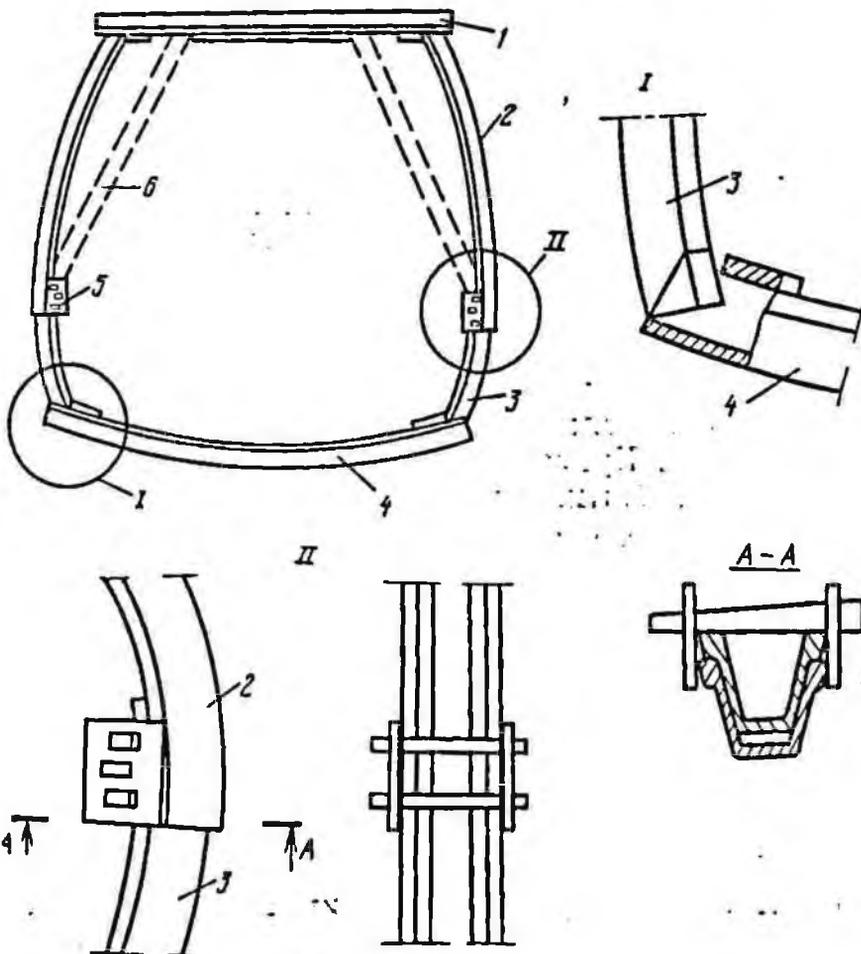


Рис. 3.15. Схема бочкообразной крепи МИК-5:

1 — верхняк; 2 — верхняя часть стойки;  
3 — нижняя часть стойки; 4 — лежень;  
5 — замок; 6 — элемент усиления (подкос)



аналогично крепи МИК-4с. Кроме того, у последней заимствованы соединительные замки и элементы усиления (показаны пунктиром).

К преимуществам данной крепи относятся наличие шарнирных узлов в соединениях верхняка и лежня со стойками, что улучшает взаимодействие крепи с вмещающими породами, и криволинейных элементов, повышающих устойчивость крепи от нагрузок, действующих с боков и со стороны почвы выработки. Однако изготовление криволинейных элементов с расположением фланцев во внутрь выработки осложнено в связи с отсутствием оборудования для их изгиба. Применение цельного поперечного лежня затрудняет устройство дренажных канав в штреке. Установить его можно только в забое при проведении выработки.

Бочкообразная крепь БПК-1 предназначена для крепления горизонтальных и наклонных (до  $18^\circ$ ) выемочных выработок, проводимых и поддерживаемых в целиках, вприсечку к выработанному пространству по углю или смешанным забоем в породах неустойчивых и средней устойчивости.

Рама крепи (рис. 3.16, а) состоит из прямолинейного верхняка и двух стоек, элементы которых скрепляются замками болтовыми с фигурными планками (узел I) или клиновыми. Допускается применение в нахлестке элементов 2 и 3 болтовых замков с фигурной планкой, а 3 и 4 клиновых замков. В нижней части элементов 3 приварены опорные площадки (подпятники). Верхняк снабжен упорами, а верхний элемент стойки — вкладышем. Упоры и вкладыши, изготовленные из спецпрофиля СВП, служат для соединения верхняка со стойками рамы. При прочных почвах боковые опоры не устанавливаются.

Конструкция этой крепи отличается от трапецевидной наличием в ней укороченного прямолинейного верхняка и криволинейных боковых элементов, благодаря чему повышается несущая способность крепи. Кроме того, сохраняются все преимущества крепей с прямолинейными верхняками.

Бочкообразная податливая крепь БПК-2М предусмотрена для крепления выемочных выработок в средних и тяжелых условиях поддержания на шахтах Подмосковского бассейна.

Рама крепи состоит из верхняка, двух податливых стоек и лежня (рис. 3.16, б) [11]. Верхняк и лежень изготавливают из двутаврового проката обычного назначения № 10—20 в зависимости от условий применения крепи. Они усилены поперечными биномиальными связями из листовой стали на концах верхняка и лежня прямоугольной формы, в середине верхняка ромбической и в середине лежня в виде параллелограмма. Усиление мало влияет на вес конструкции, но увеличивает сопротивление изгибу в 2 раза, а скручиванию двутавра — в 4,2 раза.

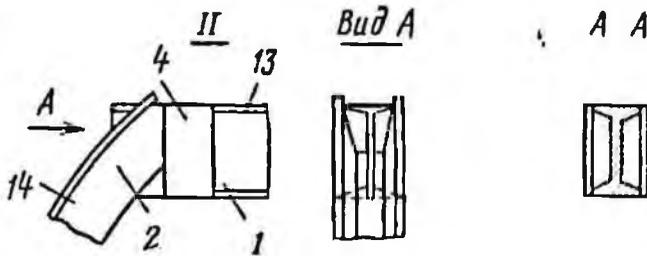
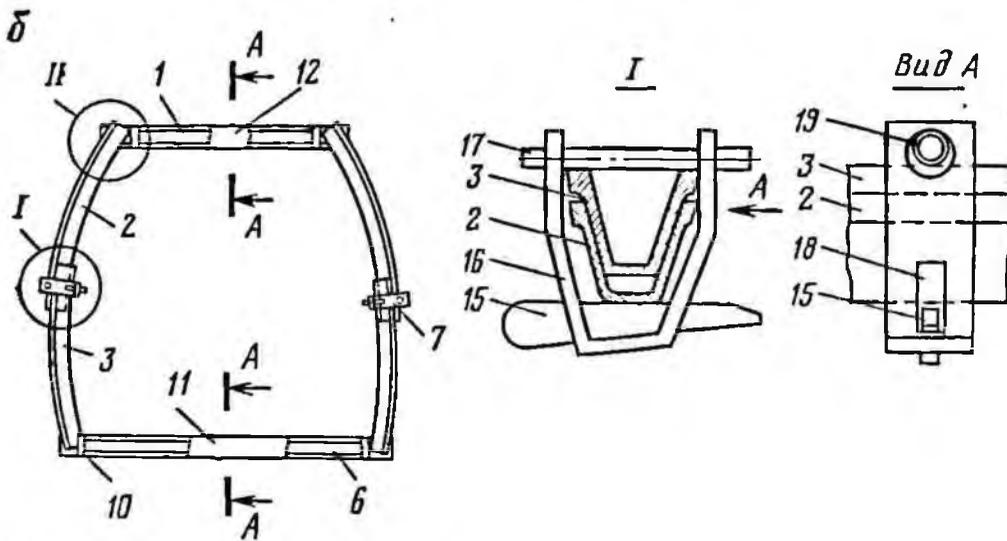
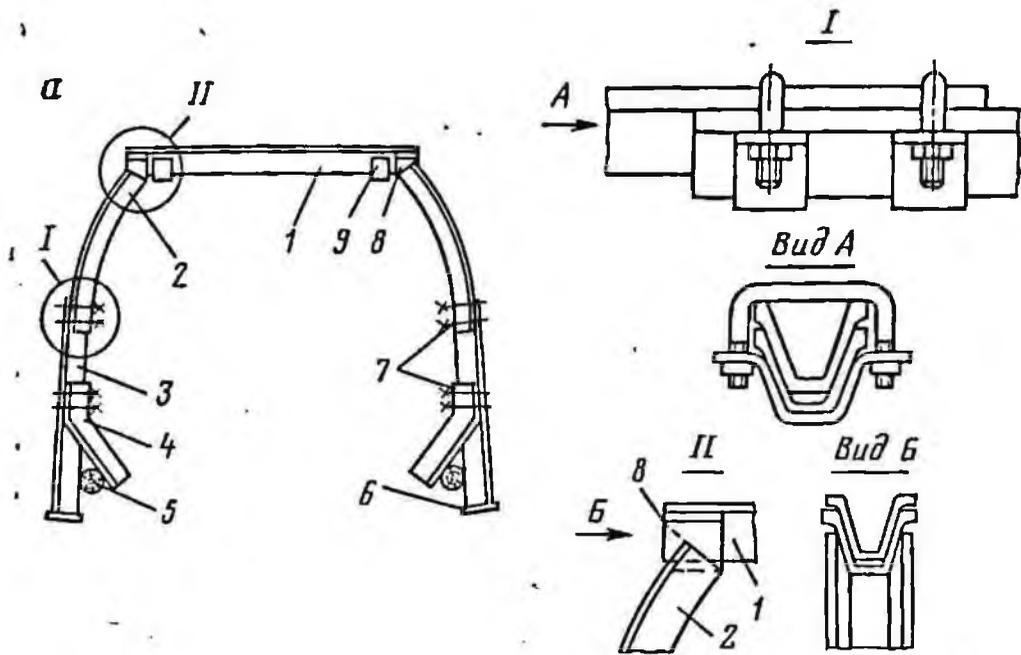


Рис. 3.16. Схемы бочкообразных крепей БПК-1 (а) и БПК-2М (б):

1 — верхняк; 2 — верхний криволинейный элемент; 3 — нижний прямолинейный элемент; 4 — боковая опора; 5 — продольная опора; 6 — подпятники; 7 — замки; 8 — вкладыш; 9 — упоры; 10, 11, 12 — биномиальные связи; 13 — внешние полки двутавра; 14 — боковые стенки СВП; 15 — клин; 16 — скоба; 17 — палец; 18 — отверстие под клин; 19 — отверстие под палец

Элементы стоек между собой соединяются внахлестку с помощью одного клинового замка (рис. 3.16, б, узел I). Они изготавливаются с одинаковым радиусом из спецпрофилей СВП17, СВП22, СВП27 и соединяются с верхняком и лежнем быстро-разъемным замком. Разъемность обеспечивается за счет среза внутренних полок у концов верхняка и лежня и образования щелевых вырезов на днищах спецпрофиля СВП стоек таким образом, что внешние полки двутавра зажаты между боковыми стенками спецпрофиля. Концы элементов стоек удерживаются от перемещения стоек во внутрь выработки планками. Для увеличения сопротивления крепи устанавливают два клиновых или один клиновой и один болтовой замки. Клиновой замок спроектирован для податливости крепи при продольной силе до 75 кН.

Арочно-трапециевидная крепь КАТ предназначена для крепления выемочных выработок, сохраняемых для повторного использования на границе с выработанным пространством, а также выработок, проводимых вприсечку к обрушенным породам при обычной технологии обработки столбов. Это промежуточный вид между трапециевидной и арочной крепями.

Рама крепи изготавливают из спецпрофилей СВП17, СВП22, СВП27 и комплектуют замкнутыми (с поперечным лежнем) и незамкнутыми (без лежня или с продольным лежнем). Незамкнутая рама (рис. 3.17, а) состоит из нижних элементов, верхнего, полуарки, верхняка. Элементы 1—4 и б соединены между собой внахлестку замками, образуя узлы податливости. В каждом соединении устанавливаются два замка. Нижние элементы снабжены подпятниками, служащими для снижения удельного давления на почву. Незамкнутая рама (рис. 3.17, б) отличается от первой удлиненным верхняком с криволинейной частью и укороченной полуаркой. Сделано это для удобства спуска в шахту и транспортирования крепи там, где колея рельсового пути составляет 600 мм.

В выработках со слабыми породами почвы и в местах, склонных к пучению, в раму крепи устанавливается поперечный или продольный лежень. Поперечный лежень (рис. 3.17, в) состоит из двух одинаковых по конструкции выположенных сегментов, соединяемых внахлестку замками. Продольный лежень (рис. 3.17, г), изготовленный из деревянной рудничной стойки диаметром 18—20 см и длиной более 2 м, укладывают с внутренней стороны стоек под боковые опоры, соединенные со стойками замками.

В крепи используют болтовые замки с фигурной планкой и клиновые замки (см. рис. 3.17, узел I, варианты 1 и 2), которые обеспечивают повышенную несущую способность рам. Для межрамной связи используются деревянные распорки диаметром 10—14 см.

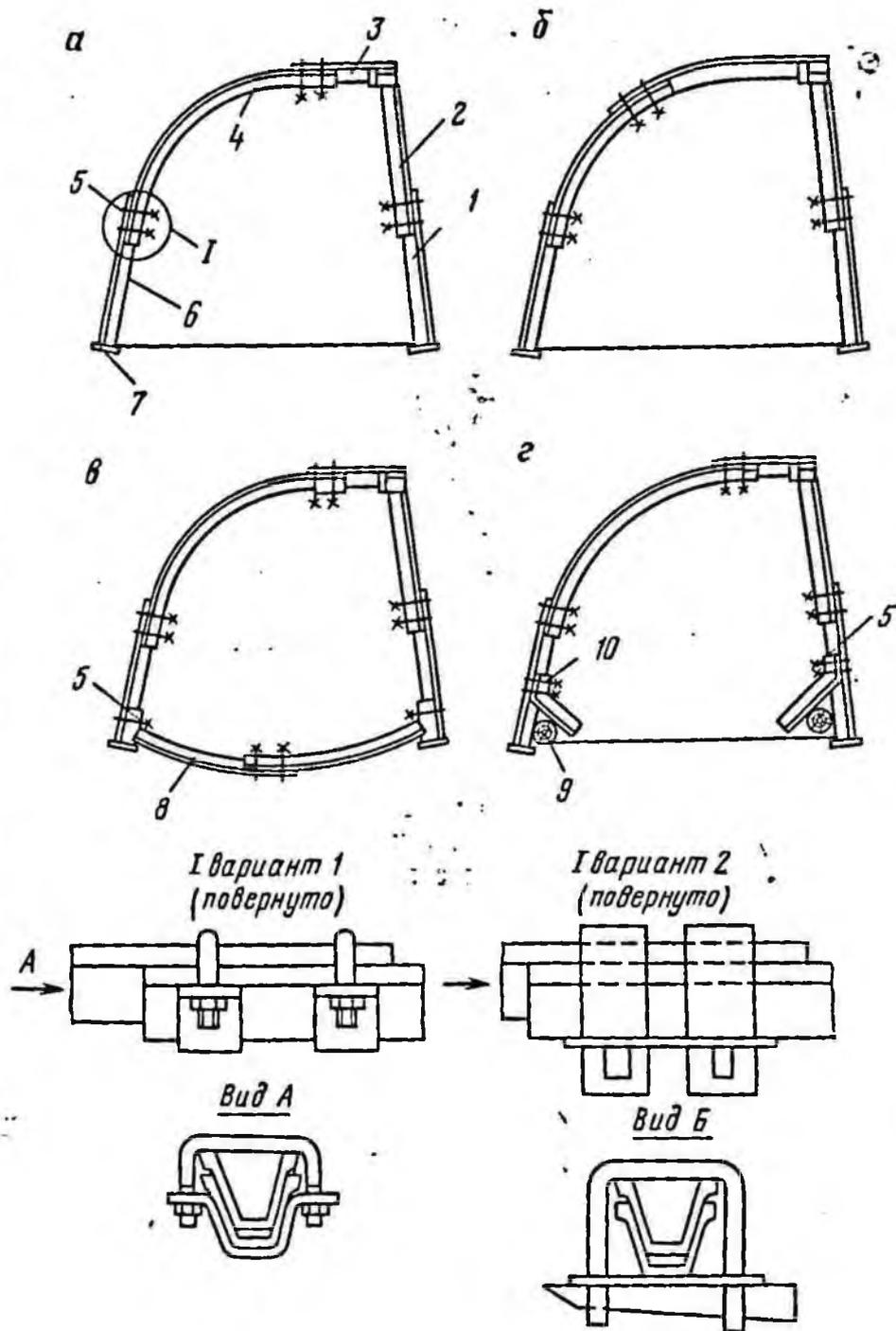


Рис. 3.17. Схема арочно-трапецевидной крепи КАТ:

*a* — незамкнутая рама с коротким верхняком; *б* — незамкнутая рама с длинным криволинейным верхняком; *в* — замкнутая рама с поперечным лежнем; *г* — незамкнутая рама с продольным лежнем; 1, 6 — нижние элементы; 2 — верхний элемент стойки; 3 — верхняк; 4 — полуарка; 5 — замки (вариант 1.1 — болтовой с фигурной планкой, вариант 1.2 — клиновой); 7 — подпятник; 8 — поперечный лежень; 9 — продольный лежень; 10 — боковая опора

### Техническая характеристика крепи КАТ

Тип применяемого профиля . . . . .	СВП17	СВП22	СВП27
Площадь поперечного сечения выработки, м <sup>2</sup> :			
в проходке . . . . .	9,9	9,9	10,6
в свету . . . . .	8,2	8,8	8,6
Высота выработки в проходке, м	2,8	2,8	3,0
Несущая способность крепи, кН:			
в податливом режиме . . . . .	150	180	200
в жестком режиме . . . . .	180	240	300
Конструктивная податливость, мм:			
вертикальная . . . . .	700	700	700
горизонтальная . . . . .	300	300	300
Масса рамы крепи без метизов, кг:			
незамкнутой конструкции . . . . .	172	223	273
замкнутой конструкции . . . . .	240	311	389

Эксплуатация крепи обеспечивает:

более высокую несущую способность, чем трапецевидные, благодаря наличию арочного элемента, который способствует надежной устойчивости выработки и безремонтному ее поддержанию;

хорошее сопряжение штрека с лавой за счет трапецевидного бока крепи;

возможность возведения лежня в замкнутой конструкции в любое время проведения или эксплуатации выработки;

возможность механизированного устройства дренажной канавы в выработках (лежень на этот период снимается);

наличие вертикальной и горизонтальной податливости, что улучшает взаимодействие крепи с вмещающими породами и сокращает затраты на ремонт крепи, так как ее элементы практически не деформируются.

Вместе с тем трудоемкость возведения рам крепи выше, чем трапецевидных крепей.

Арочная металлическая крепь имеет много разновидностей, отличающихся числом и кривизной элементов, способом их соединения в раму, площадью поперечного сечения, профилем проката, рабочей характеристикой (жесткие, ограничено-податливые, податливые) и др. Несущая способность арочной крепи выше, чем у трапецевидной и ниже, чем у кольцевой.

Арочная металлическая крепь МИК-6, АИК, АШВ, АШП, АШК и КЖК в условиях Подмосковского бассейна применяется в подготавливающих и главных (магистральных) штреках новых эксплуатационных и строящихся шахт. Первые два типа относятся к четырехэлементным арочным крепям (лежень при такой классификации к учету не принимается), сконструированным для проведения подготавливающих выработок в слабых песчано-глинистых вмещающих породах. Остальные трех-

ТАБЛИЦА 3.7

Показатели	Арочная крепь			
	МИК-6	АИК	АШВ	КЖК
Площадь поперечного сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	6,5	7,5	6,7—12,7	5,7—36,1
Высота выработки в свету, мм	3000	2700	2500—2970	2930—5092
Ширина крепи в свету по низу, м	3,25	3,50	3,45—5,29	2,4—9,8
Конструктивная податливость крепи, мм:				
	вертикальная	700	75—300	5—100
горизонтальная	300	200	100	50
Несущая способность рамы со стороны кровли без усиления, кН	200—400	270—400	150—350	60—300
Масса рамы в сборе (без стяжек и усиления), кг	314	170—382	354—570	270—530
Масса наиболее тяжелого элемента рамы, кг	—	48—76	80—157	87—178

элементные (трехзвенные) крепи представляют собой усовершенствованные конструкции широко распространенной на шахтах крепи АП, которые применяют в выработках главных направлений. Техническая характеристика арочных крепей приведена в табл. 3.7.

Металлическая инвентарная крепь МИК-6 предназначена для крепления и поддержания выемочных выработок в тяжелых условиях с воздействием на выработку всестороннего горного давления. Фланцы спецпрофиля СВП, из которого изготавливают крепь, на всех элементах рамы обращены во внутрь выработки.

Рама крепи имеет арочную форму замкнутой конструкции (рис. 3.18, а). Стойки с лежнем 4 соединяются одним из двух способов. При первом нижняя часть стоек сплющивается и вставляется в профиль лежня 4, где удерживается от перемещения во внутрь выработки пластиной, приваренной к лежню. По второму способу нижняя часть стоек длиной 300 мм отгибается во внутрь и сопрягается с лежнем 4 внахлестку обычным болтовым замком.

Вертикальная податливость крепи осуществляется в боковых нахлестках за счет взаимного перемещения элементов 1 и стоек 2. Наличие верхнего податливого узла обеспечивает горизонтальную податливость в верхней части выработки. При изготовлении стоек и лежня вторым способом в крепи достигается горизонтальная податливость в нижней части выработки на

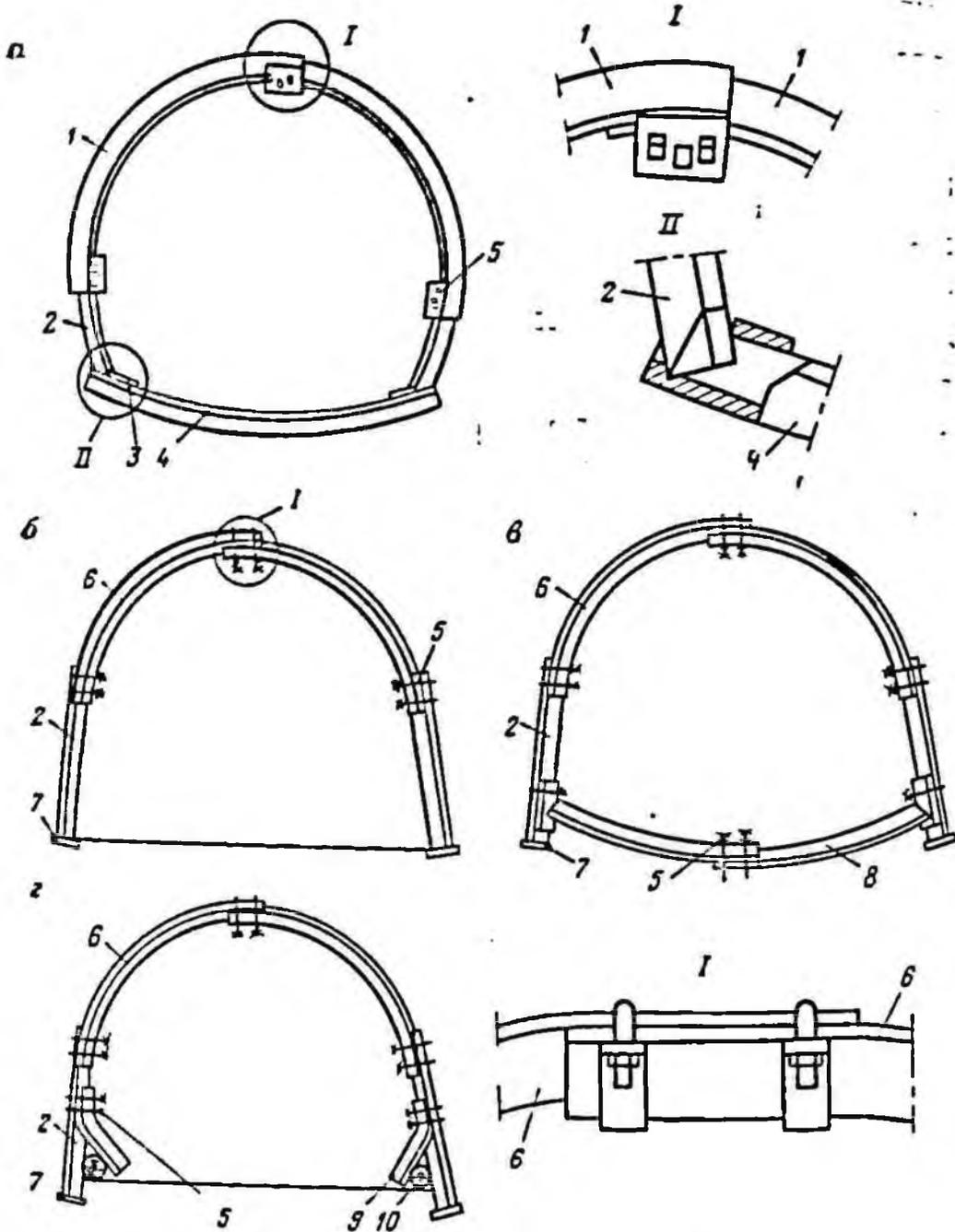


Рис. 3.18. Схемы арочных инвентарных крепей МИК-6 и АИК:  
 а — рама МИК-6; б, в, г — рамы АИК, соответственно незамкнутая, замкнутая с поперечным лежнем, замкнутая с продольным лежнем; 1 — верхний элемент; 2 — стойка; 3 — упорная пластина; 4 — лежень; 5 — замок; 6 — полуарка; 7 — опора; 8 — поперечный лежень; 9 — боковая опора; 10 — продольный лежень

250 мм. Таким образом, крепь МИК-6 хорошо приспособлена для восприятия повышенных всесторонних нагрузок.

Арочная инвентарная крепь АИК предназначена для крепления и поддержания горизонтальных и наклонных (до 30°) подготовительных выработок с пучащими и непучащи-

ми почвами, проводимых в целиках или вприсечку к выработанному пространству. Она рассчитана на восприятие горного давления в зоне влияния очистных работ и вне ее в легких, средних и тяжелых условиях поддержания.

Крепь АИК изготавливается из спецпрофилей СВП17, СВП22, СВП27 для трех схем сборки: незамкнутой АИК-10 (рис. 3.18, б), незамкнутой с продольным лежнем, возводимым под боковые опоры АИК-11 (рис. 3.18, г), и замкнутой с поперечным составным выложенным лежнем АИК-10сл (рис. 3.18, в).

Элементы крепи АИК-10 собирают внахлестку и соединяют двумя болтовыми замками с фигурной планкой (см. рис. 3.18, б). Возможно применение и других замков с соответствующей характеристикой.

Рама крепи АИК-10сл отличается от рамы АИК-10 тем, что снабжена составным лежнем, содержащим два одинаковой конструкции элемента 8, и дополнительными замками 5.

Рама крепи АИК-11 включает все элементы крепи АИК-10 и дополнительно комплектуется двумя боковыми опорами с четырьмя замками, которые служат для удержания продольного лежня. Последний обеспечивает надежную связь рам по длине выработки и снижает удельное давление крепи на почву.

Поперечные или продольные лежни устанавливаются не по всей длине выработки, а только на участках со слабыми или склонными к пучению породами почвы в любое время эксплуатации выработки.

Податливость крепей обеспечивается за счет скольжения элементов рам относительно друг друга в местах их соединения внахлестку. Рамы АИК собирают так, чтобы в верхнем узле податливости длина нахлестки была 400 мм и верхний конец полуарки со стороны лавы был снизу, а в боковых узлах податливости концы полуарки расположены с внутренней стороны рамы, т. е. стойки должны прижиматься к бокам выработки. Длина бокового нахлеста составляет 350 мм.

Такая схема сборки обеспечивает проектный режим податливости крепи, достаточную прочность верхнего соединительного узла, удобство и снижение трудоемкости работ при извлечении рам крепи в момент погашения выработки. Податливая рабочая характеристика крепи АИК при возведении в главных (магистральных) выработках изменяется на ограниченно-податливую. Для этого в районе существующих узлов податливости на одном из элементов рамы (стойке или полуарке) приваривают упор (отрезок спецпрофиля длиной 100—150 мм) и располагают его так, чтобы обеспечить податливость 75—100 мм. По исчерпании этой податливости крепь будет работать в жестком режиме.

Крепь обладает конструктивной горизонтальной податливостью и позволяет возводить лежни в любое время и любом месте при проведении и эксплуатации выработки, устраивать дренажные канавы без повреждения или разрушения крепи, а также обеспечивает широкий диапазон применения по горно-геологическим и горнотехническим условиям. Недостаток крепи — сложность установки верхних замков в связи с расположением их на контакте с кровлей выработки.

Арочные металлические крепи АШВ, АШП, АШК, предназначенные для крепления одно- и двухпутных выработок в основном главных направлений, представляют собой трехзвенные арки с одинаковой кривизной на верхняке и боковых элементах при наличии поперечного выположенного лежня или без него. Крепи изготавливают, как правило, из спецпрофиля СВП27, реже из спецпрофиля СВП22. Они могут быть как ограничительно-податливые, так и податливые.

Все элементы крепи АШВ (рис. 3.19, а) соединены между собой внахлестку. В верхней части боковых элементов для ограничения податливости приваривают упоры (в податливых конструкциях они отсутствуют), а в нижней — опорные башмаки (подпятники), изготавливаемые из листовой стали или кусков спецпрофиля СВП.

Длина поперечного целикового лежня меньше ширины выработки в свету, и это создает хорошие условия для его установки. Лежень крепится к боковым элементам кронштейнами, изготовленными из спецпрофиля СВП. С целью уменьшения ручных работ по выемке обратного свода и монтажу лежня крепь АШВ имеет увеличенную высоту, а лежень крепится к боковым элементам на высоте 500—800 мм от нижнего их торца. Это позволяет комбайном обработать весь контур выработки, возвести крепь, образовать дренажную канавку, а затем засыпать породой ненужную часть обратного свода.

Крепь АШК (рис. 3.19, б) отличается от крепи АШВ тем, что вместо цельного в ней применен составной лежень и упрощено крепление его с боковыми элементами меньшей длины, чем в крепи АШВ.

Крепь АШП по конструкции аналогична крепям АШВ, АШК и отличается отсутствием в ней лежня. При слабых породах почвы в выработках с крепью АШП возводится бетонный монолитный уступ (цоколь), аналогичный показанному на рис. 3.19, в (узел II).

Арочная металлическая крепь КЖК (рис. 3.19, в) предназначена для крепления одно- и двухпутных главных (магистральных) выработок. Рабочая документация разработана на 38 типоразмеров этой крепи, которые охватывают выработки различного назначения площадью поперечного сечения в свету от 5,7 до 36,18 м<sup>2</sup>. На шахтах Подмосквовного

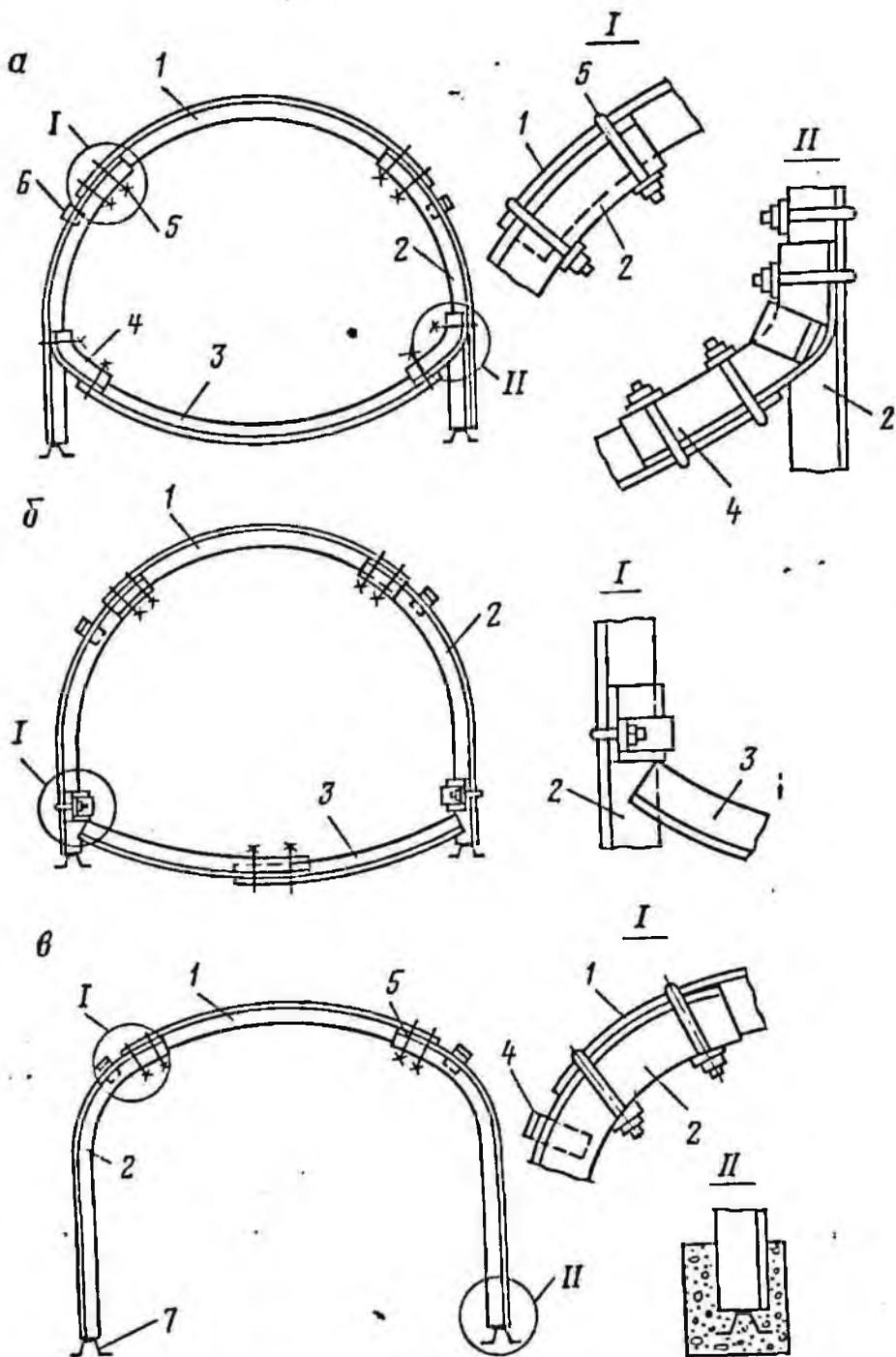


Рис. 3.19. Схемы арочных крепей АШВ, АШК и КЖК:  
 а — рама АШВ; б — рама АШК; в — рама КЖК; 1 — верхний элемент; 2 — боковой элемент; 3 — лежень; 4 — кронштейн; 5 — замок; 6 — упор; 7 — башмак (подпятник)

бассейна используются не более пяти-семи типоразмеров. Крепь изготавливают из спецпрофилей СВП22 и СВП27, выпускают с жесткой характеристикой под монолитное бетонирование и с ограниченно-податливой для крепления выработок рамами вразбежку, соединяемыми между собой тремя металлическими межрамными стяжками, с железобетонными затяжками.

Рама крепи незамкнутой конструкции состоит из криволинейного верхнего элемента малой кривизны и двух боковых элементов, которые в нижней части прямолнейные, а в верхней имеют изгиб большой кривизны. Элементы соединяют между собой внахлестку и скрепляют болтовыми замками. Поэтому рама в целом представляет собой арку с коробовым сводом и прямолнейными вертикальными боками. Для обеспечения рабочей характеристики рамы на боковых элементах в месте нахлестки приваривают упоры, а для снижения вдавливания в почву выработки нижние их торцы снабжены опорными башмаками (подпятниками) из спецпрофиля. При жесткой характеристике упор при сборке упирается в торец сопрягаемого верхнего элемента, при ограниченно-податливой между торцом и упором образуется зазор, равный величине податливости (от 75 до 100 мм).

При слабых почвах и значительном боковом горном давлении в главных (магистральных) выработках крепь КЖК усиливают возведением бетонного монолитного уступа или цоколя (см. рис. 3.19, в, узел II) по всей длине выработки или на отдельных ее участках.

Основной недостаток крепей АШВ, АШК, АШП, КЖК заключается в том, что шахтостроительные организации до сих пор применяют при сборке рам неэффективные болтовые замки с плоской планкой. Поэтому использование несущей способности спецпрофиля составляет только 50% их прочности. Кроме того, они обладают недостаточной площадью опорных башмаков (подпятников), что приводит к вдавливанию крепи в слабые почвы.

Кольцевая металлическая крепь предназначена для крепления и поддержания выработок, которые подвержены воздействию повышенного и всестороннего горного давления. Ею крепятся выемочные и главные (магистральные) выработки. Для шахт Подмосковского бассейна крепь изготавливают из специальных шахтных взаимозаменяемых профилей СВП17, СВП22, СВП27 в основном с податливой рабочей характеристикой, реже с ограниченно-податливой. Профиль СВП во всех кольцевых крепях обращен фланцами к породам контура выработки. Податливость крепи ограничивается дополнительными упорами на элементах рам по аналогии с арочными крепями. Кольцевая металлическая крепь изготавливается полной КПК

ТАБЛИЦА 3.8

Показатели	КПК	КМК-П
Площадь поперечного сечения выработки в свету до осадки, м <sup>2</sup>	6—15,9	5,7—12,7
Несущая способность кольца, кН	200—400	180—400
Вертикальная податливость, мм	300	300
Диаметр кольца крепи в свету, м	2,8—4,5	2,8—4,1
Масса комплекта крепи, кг	179—536	176—464

и с пологим лежнем КМК-П (старое наименование КПК-ПЛ). Техническая характеристика этих крепей приведена в табл. 3.8.

Рама (кольцо) податливой крепи КПК (рис. 3.20, а) представляет собой три или четыре одинаковых по геометрии и размерам сегмента, соединенных внахлестку замками. Податливость крепи осуществляется за счет проскальзывания сегментов в узлах их соединения. При смещении сегментов уменьшается диаметр кольца, что обеспечивает вертикальную и горизонтальную, а точнее всестороннюю податливость.

Кольцевая крепь КПК имеет высокую несущую способность и возможность восприятия значительного всестороннего горного давления, простую конструкцию и полную унификацию элементов кольца, малую трудоемкость изготовления и хорошую ремонтпригодность.

Однако применение таких крепей значительно повышает трудоемкость проведения и крепления выработок за счет излишних немеханизированных работ по выемке пород обратного свода. Крепь КПК неудовлетворительно сопрягается с секциями лавных механизированных крепей и существующими механизированными крепями сопряжения. На сопряжениях с лавой образуются большие обнаженные пространства кровли, что снижает безопасность работ и вызывает опасность вывала пород в рабочее пространство с вытекающими из этого последствиями. При установке крепи требуется тщательная забутовка закрепленного пространства и пр.

Кольцевая податливая крепь с пологим лежнем КМК-П (КПК-ПЛ) разработана для замены полной кольцевой крепи КПК. Основное преимущество ее заключается в снижении объема выемки пород в обратном своде. Широкое применение получили два вида крепи.

Все элементы рамы первого вида крепи с пологим лежнем (рис. 3.20, б) соединяются между собой внахлестку замками. Верхняк и боковые сегменты криволинейной формы с одинаковым радиусом, лежень также криволинейный, но прокатан большим радиусом, чем первые три элемента. Кроме того, концы лежня дополнительно изогнуты по ходу его прокатки на ве-

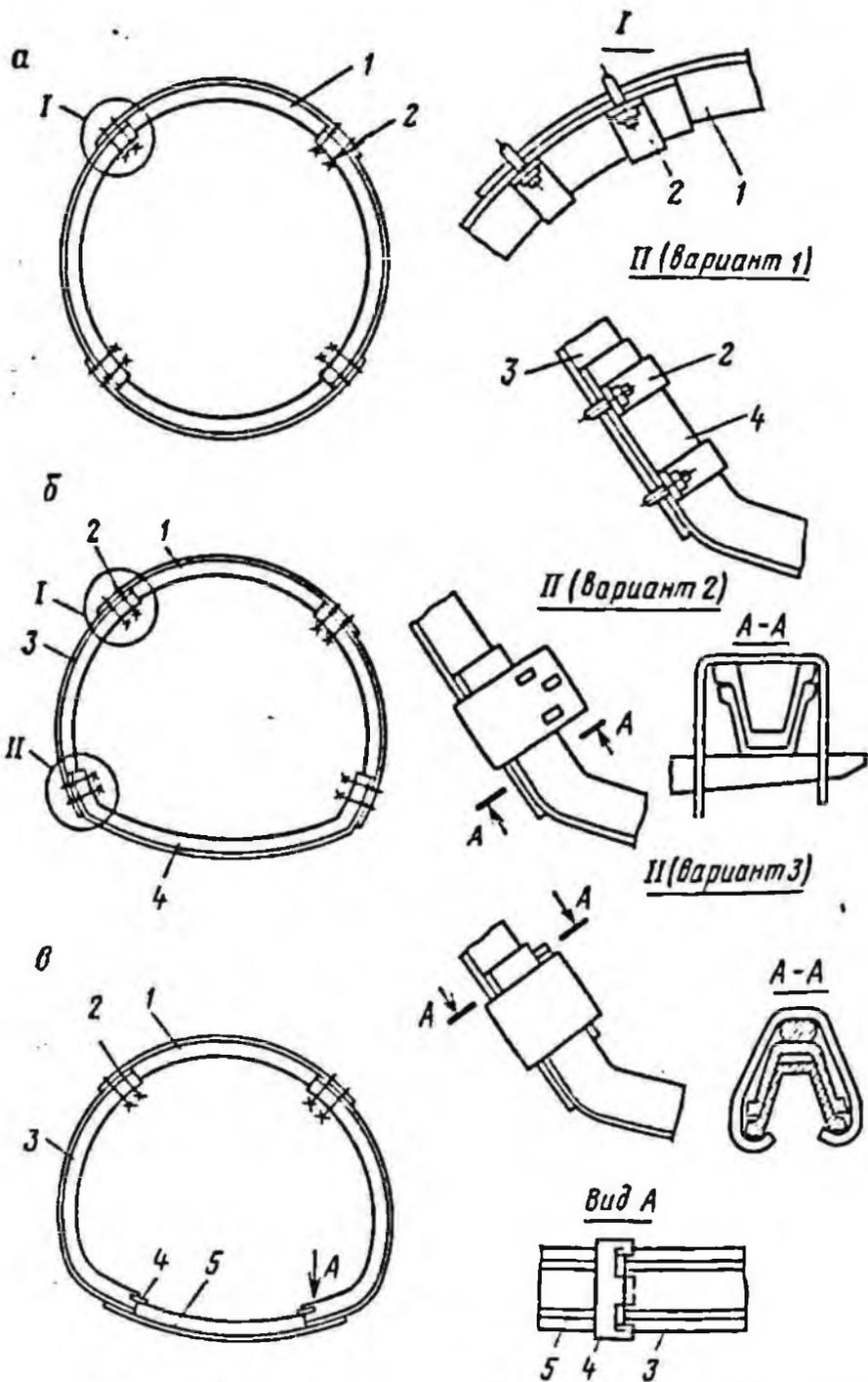


Рис. 3.20. Схемы кольцевых металлических крепей:  
 а — полное кольцо; 1 — сегмент; 2 — замок; б — кольцевая крепь с пологим  
 лежнем КМК-П (КПК-ПЛ) первого вида; 1 — верхняя; 2 — замки (II — ва-  
 риант 1 — болтовой с фигурной планкой, II — вариант 2 и 3 — клиновой); 3 —  
 боковой сегмент; 4 — лежень; в — кольцевая крепь с пологим лежнем КМК-П  
 (КПК-ПЛ) второго вида; 1 — верхняя; 2 — замки (I — болтовые с фигурной  
 планкой); 3 — боковой сегмент; 4 — Ш-образный упор; 5 — лежень

личину, обеспечивающую хорошее сочленение с нижними частями боковых сегментов.

Замки 2 в кольцевых конструкциях в основном болтовые с фигурными планками (рис. 3.20, узлы I и II, вариант 1). В последнее время в верхних податливых узлах применяют болтовые замки с фигурной планкой, а в нижних — клиповые (рис. 3.20, узел II, варианты 2, 3).

Рама второго вида кольцевой крепи с пологим лежнем (рис. 3.20, в) имеет аналогичное с первым видом очертание выработки, но в ней изменена конструкция лежня 5, который не имеет концевых отгибов и короче, чем в крепи первого вида. Это обеспечивает удобную и менее трудоемкую доставку лежней в пакетах к месту установки.

В то время нижние концы боковых сегментов 3 отогнуты по ходу прокатки на длину 250 мм и упираются в приваренные к лежню 5 упоры 4, которые изготавливают из листовой стали и имеют Ш-образную форму. Такое сопряжение элементов придает соединениям шарнирность, что улучшает взаимодействие крепи с вмещающими породами и уменьшает величины изгибающих моментов.

Соединение верхняка 1 с боковыми сегментами 3 выполнено внахлестку по аналогии с крепями первого вида. Таким образом, во второй конструкции вдвое уменьшено количество замков, что позволяет снизить время и трудоемкость возведения и изготовления рам, а также их стоимость. Шарнирность обеспечивает более равномерное распределение нагрузок по контуру крепи.

Секционные крепи и крепи усиления. Основная проблема при разработке и внедрении технологии совмещенной выемки с применением комплексов типа ОКС-2 и с повторным использованием выработок — сложность поддержания выемочных штреков на границе массива угля и обрушенных пород. В зоне временного опорного горного давления (особенно позади очистного забоя) крепи испытывают значительные нагрузки. Обычные рамные конструкции, изготовленные из спецпрофиля СВП27, деформируются даже при большой плотности их возведения и не обеспечивают нормального эксплуатационного состояния выработок. Поэтому для их крепления и охраны применяют секционные передвижные крепи.

При технологии совмещенной выемки (комплекс ОКС-2) выемочную выработку крепят секционной крепью на всю длину, кроме охранных целиков, и поддерживают ее в период от формирования до погашения. Обычная рамная крепь при этом отсутствует. Несущую способность крепи в зоне опорного горного давления повышают устанавливаемыми под секции дополнительными гидравлическими стойками. В условиях Подмосковно-

го бассейна применялись две конструкции секций для такой технологии — КШС и СПК.

В технологии выемки угля с повторным использованием выработок секционные крепи используют для усиления штрековой рамной крепи в зоне опорного горного давления. Они воспринимают основную долю горного давления в этой зоне, а штрековая рамная крепь в этот момент работает как вспомогательная конструкция. Секционные крепи усиления перемещаются вслед за очистным забоем, т. е. вышедшая из зоны опорного горного давления в зону стабилизации секция демонтируется и транспортируется к очистному забою, где вновь устанавливается в рабочее положение. Далее приведены две конструкции секционных крепей усиления для повторно используемых выработок: КУП, которая предназначена для использования с арочно-трапециевидной рамной крепью КАТ, и трапециевидной формы в поперечном сечении выработки КШУ, применяемой с рамными крепями типов МИК-4с, ТИК и др.

Выемка угля в лавах, оборудованных очистными механизированными комплексами, сопряжена с трудоемкостью поддержания штреков в зоне влияния очистных работ (на участке 15—20 м от очистной линии забоя в направлении подвигания). Штреки на этом участке подвергаются воздействию интенсивного опорного горного давления, вследствие чего деревянные рамы вдавливаются в почву либо деформируются. Все это приводит к уменьшению сечения штрека, проникновению в него обрушенных пород и нарушению ритмичной работы лавы. Для устранения вредного влияния опорного горного давления на работу очистного участка крепь штреков в зоне проявления этого давления, как правило, усиливают деревянной вандрутной крепью, для чего в больших объемах тратится лесоматериал, а также ручной труд на его доставку, возведение и снятие по мере подвигания очистного забоя. Кроме того, установка вандрутной крепи в штреке загромождает свободные проходы, затрудняет расстановку оборудования в штреке, доставку лесоматериалов в лаву и повышает опасность ведения очистных работ.

Для устранения перечисленных недостатков применяют инвентарную металлическую крепь усиления КУ. Ее возводят впереди секций крепи очистного механизированного комплекса на участках штреков длиной до 20 м.

Кроме крепи усиления КУ для повышения устойчивости выемочных выработок перед лавой широко используют вандрутное усиление с индивидуальными гидравлическими стойками с внутренним питанием ГСК, ГСУ и др. Для более эффективного применения индивидуальных гидростоек в них внесены некоторые конструктивные изменения.

Крепь штрековая секционная КШС предназначена для формирования и поддержания выемочных выработок

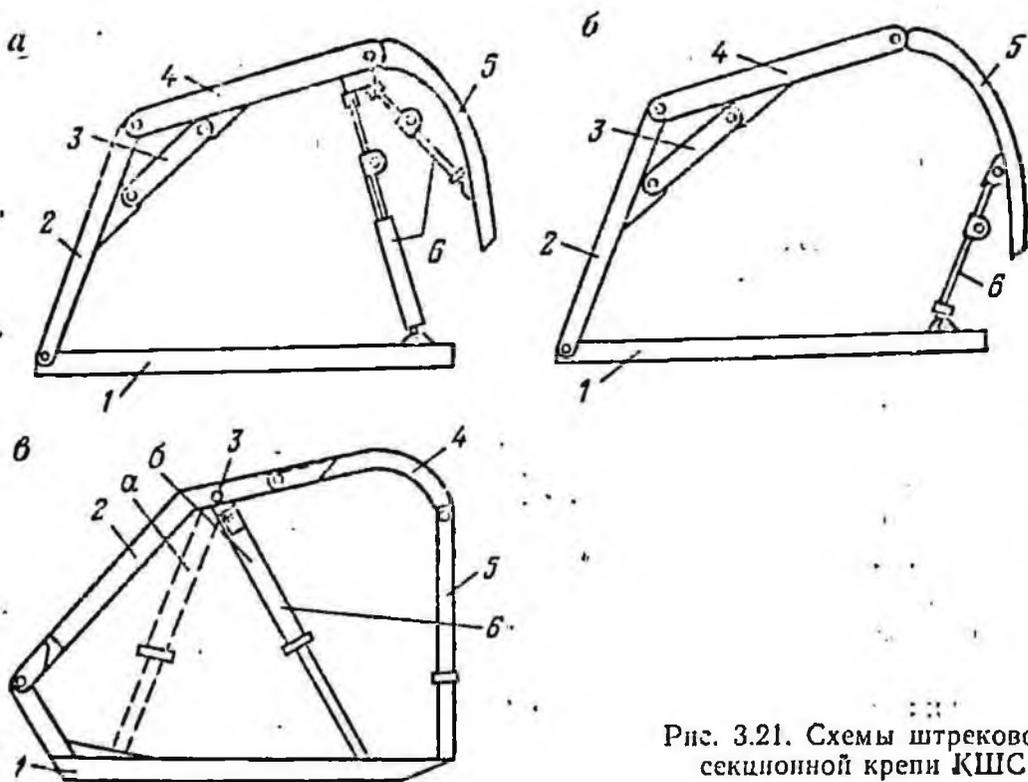


Рис. 3.21. Схемы штрековой секционной крепи КШС

вприсечку к обрушенным породам за счет использования части рабочего пространства лавы в комплексах совмещенной выемки типа ОКС-2. Интерес представляют два варианта секций.

Первый — конструкция геометрически неизменяемой системы. Каждая секция в них (рис. 3.21, а) содержит основание 1, ограждение 2, верхняк 4, козырек 5 и податливые опоры 6. Эти элементы соединены шарнирами в единую конструкцию. Все элементы, кроме податливых опор, выполнены из листовой стали и имеют коробчатое сечение. Ограждение 2 с верхняком 4 для большей жесткости соединены стяжкой 3. Криволинейная форма козырька принята в соответствии с формой угольного целика, которая образуется в результате обработки борта очистного забоя шнековым рабочим органом очистного комбайна. Податливыми опорами служат стойки трения типа Т7ПК, используемые в лавах; применялись также гидравлические стойки от механизированных очистных крепей.

Второй вариант крепи КШС (рис. 3.21, б) по металлоконструкции аналогичен первому, но отличается от него тем, что вместо двух применена одна податливая опора 6, которую устанавливают между основанием 1 и нижней частью козырька 5. Ширина секции по технологическим соображениям принята на 30 мм меньше, чем величина захвата очистного комбайна и составляет 600 мм. Такая перестановка опор обеспечивает геометрическую изменчивость секциям, следовательно, значитель-

ную подвижность ограждению с верхняком и козырьку и изменяет характер ее взаимодействия с вмещающими породами.

#### Техническая характеристика секции крепи КШС

Тип крепи . . . . .	Оградительно-поддерживающий
Ширина секции, мм . . . . .	600
Расчетное сопротивление податливого элемента, кН	250
Расчетное давление горных пород, МПа:	
на поддерживаемую часть крепи . . . . .	0,2
на оградительную часть:	
вертикальное . . . . .	0,15
горизонтальное . . . . .	0,08
Максимальное давление крепи на почву, МПа . . . . .	0,4
Высота выработки в черне, м . . . . .	2,5
Рабочая податливость, мм . . . . .	600
Аварийная податливость, мм . . . . .	120
Площадь поперечного сечения свободного прохода в крепи, м <sup>2</sup> . . . . .	5,0
Высота крепи при транспортировании, мм . . . . .	1100
Масса одной секции крепи, кг . . . . .	1600

Секционная присечная крепь СПК (рис. 3.21, в) имеет то же назначение, что и крепь КШС. Состоит из основания 1, ограждения 2, козырька 4, основной гидростойки 5, вандрутной гидростойки 6. Основание 1 выполнено в виде лыжи, загнутый конец которой шарнирно соединен с ограждением 2, которое имеет две плоскости — нижнюю, контактирующую с обрушенными породами, и верхнюю — с кровлей. Козырек 4 с ограждением 2 скреплен ограниченным шарнирным соединением, а с основной гидростойкой 5 — обычным цилиндрическим шарниром с открытыми проушинами. В месте изгиба ограждение 2 снабжено опорой, в которой вандрутная гидростойка 6 крепится цилиндрическим шарниром 3, удерживающим ее в подвешенном состоянии. Основание 1 имеет опоры: одну для гидростойки 5 и две для вандрутной гидростойки 6. Все три опоры сферические. В зависимости от расположения секций относительно очистного забоя вандрутная гидростойка 6 переставляется в положение «а» или «б» (показано пунктирной линией).

При создании СПК впервые реализован принцип использования в крепи переменной несущей способности (в зоне опорного давления повышенной, а вне зоны пониженной). Изменение несущей способности крепи достигается в результате перестановки вандрутной гидростойки 6.

Крепь усиления штрековая КШУ предназначена для усиления трапецевидной штрековой крепи и поддержания выемочных выработок в зоне временного опорного горного давления при сохранении их для повторного использования в тяжелых горно-геологических условиях разработки угольных пла-

### Техническая характеристика секции крепи СПК

Тип крепи . . . . .	Оградительно-поддерживающий
Площадь поперечного сечения выработки в свету (до осадки), м <sup>2</sup> . . . . .	5,6
Конструктивная высота, м . . . . .	1,9—2,5
Шаг установки секций, м . . . . .	0,63
Расчетные нагрузки при установке вандрутной стойки (в зоне опорного давления), МН/м <sup>2</sup> :	
на поддерживающую часть . . . . .	0,35
на оградительную часть:	
по вертикали . . . . .	0,30
по горизонтали . . . . .	0,08
Расчетные нагрузки без вандрутной стойки (вне зоны опорного давления), МН/м <sup>2</sup> :	
на поддерживающую часть . . . . .	0,10
на оградительную часть:	
по вертикали . . . . .	0,15
по горизонтали . . . . .	0,08
Давление на почву при максимальной несущей способности, МПа . . . . .	0,4
Габариты секции в транспортном положении, мм (высота × ширина × длина) . . . . .	850 × 610 × 3330

Секция крепи (рис. 3.22) имеет трапециевидную форму в поперечном сечении и состоит из основания 1, верхняка 7, боковых ограждений 5, основных гидростоек 2, щитков 3, винтовых пар 4, вспомогательных гидродомкратов 6. Все элементы между собой соединены шарнирами, которые обеспечивают складывание секции в транспортное положение и установку ее в рабочее положение. Транспортное положение секции показано на рисунке пунктирными линиями.

При воздействии горного давления на секцию ее элементы могут в допустимых пределах изменять свое положение и тем самым перераспределять нагрузки по периметру выработки.

Положительный эффект от применения крепи достигается за счет того, что она рационально воспринимает опорное давление при подвигании лавы, имеет достаточную устойчивость и может быстро переставляться. Все это позволяет сохранить горную выработку и значительно сократить время на перестановку секции штрековой крепи усиления, что уменьшает сроки подготовки очистного фронта следующей лавы и увеличивает время работы очистного механизированного комплекса, а следовательно, и его производительность.

Крепь усиления КУП для поддержания штреков имеет то же назначение, что и КШУ, но применяется с арочно-трапециевидной рамной крепью типа КАТ. Секция крепи (рис. 3.23) [2] состоит из Г-образного основания 1, забойного 8 и завального 14 ограждений, верхняка 10, а также основного 11 и вспомогательных 7 и 18 гидродомкратов.

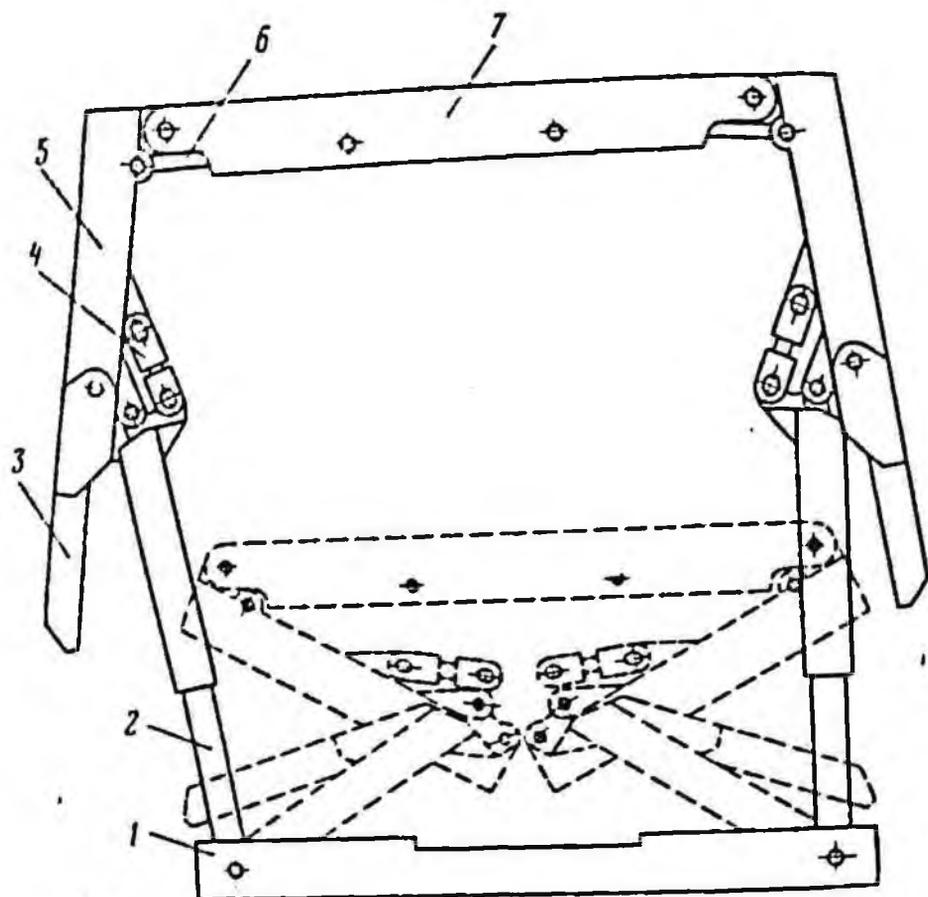


Рис. 3.22. Схема крепи усиления штрековой КШУ

Все основные узлы секции соединяются между собой с помощью шарниров и опор.

Основание 1 имеет сверху поперечный направляющий паз 2 для транспортирования секций по выработке, в Г-образной части — вертикальный паз 5, с которой взаимодействует цилиндрический палец 6 забойного ограждения 8. Кроме того, оно снабжено цилиндрическим шарниром и сферическими опорами 7 для соединения с завальным ограждением 14 и гидродомкратами 11, 18.

Забойное ограждение 8 имеет криволинейную форму в соответствии с основной штрековой крепью. Шарнир 9 имеет ограниченное перемещение и при определенном положении замыкает ограждение 8 с верхняком 10.

Верхняк 10 состоит из балки с забойной стороны, имеющей полую часть, куда телескопически входит и фиксируется в определенном положении тяга 12. Для ее соединения с завальным ограждением 14 служит шарнир 13.

Ползун 16 завального ограждения 14 телескопически входит в верхнюю ее часть и может фиксироваться устройством 15. Выше он соединен с криволинейным звеном 17, которое шар-

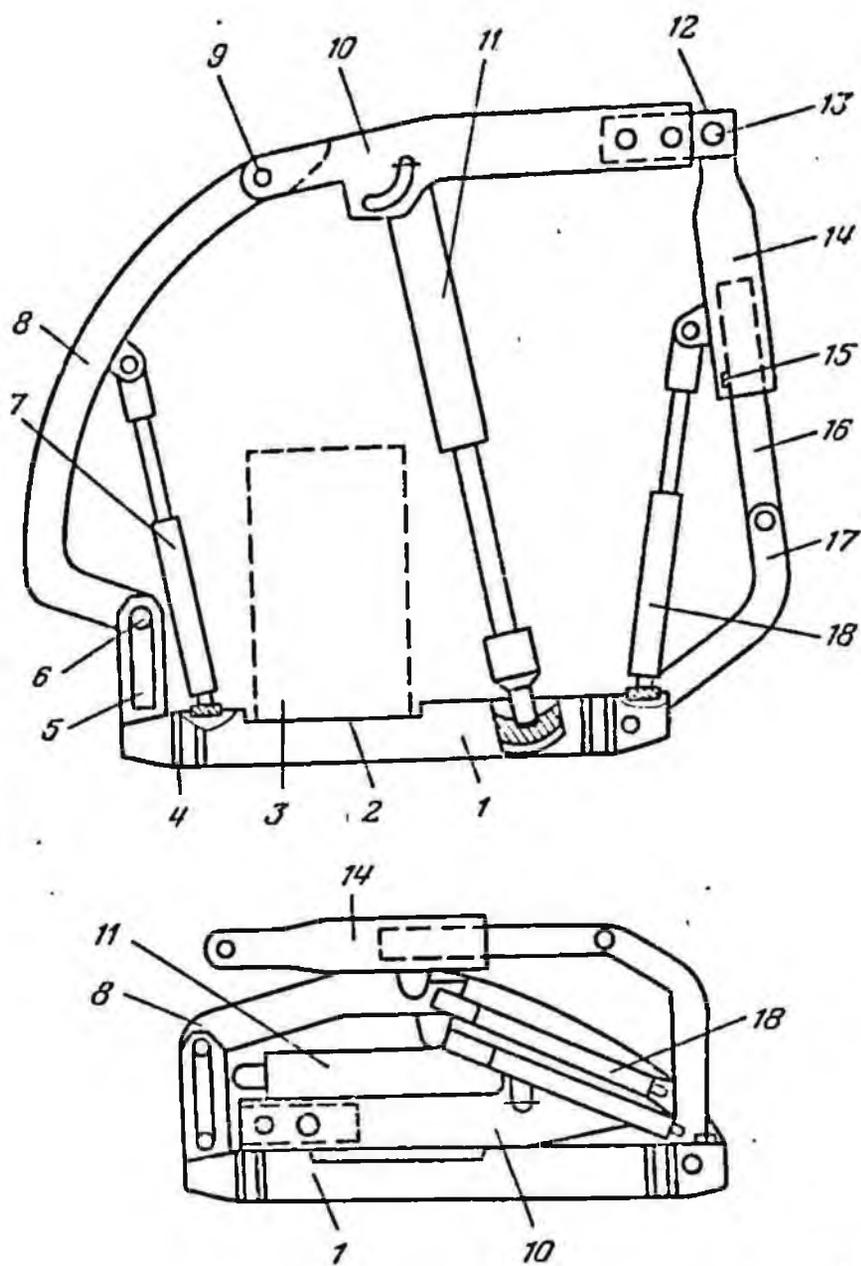


Рис. 3.23. Схема крепления усиления КУП

ниром скрепляется с основанием 1. Проушины 4 служат для соединения секций между собой.

Для складывания секции разъединяют шарнир 13 и разгружают основной гидродомкрат 11. При этом верхняк 10 опускается, поворачиваясь вокруг шарнира 9. Затем разгружают вспомогательные гидродомкраты 7 и 18. В этом случае цилиндрический палец 6 перемещается в вертикальной плоскости паза 5 и забойное ограждение 8 опускается. После этого выводят из контакта со сферическими опорами основания 1 гидродомкраты 7, 11 и укладывают верхняк 10, поворачивая его вокруг

шарнира 9 тыльной стороной на основании 1, расфиксировав и утопив тягу 12 в полую часть верхняка. Забойное ограждение 8 укладывают сверху над верхняком 10, а основной гидродомкрат 11, перемещаясь верхним пальцем по криволинейному пазу, ложится на верхняк 10, не выходя за габариты основания 1. Гидродомкраты сокращают так, чтобы они тоже не выходили за габариты основания 1.

После этого разгружают гидродомкрат 18, при этом выбирают ход ползуна 16, выводят их из контакта со сферическими опорами основания 1 и поворачивают завальное ограждение 14 вокруг шарниров, укладывая его сверху на забойное ограждение 8. Затем выбирают свободный ход гидродомкрата 18 так, чтобы он не выходил за габариты основания 1 (3 — зона размещения крепи усиления КУП). После этого секция сложена и готова к развороту и транспортированию. Установку секции в рабочее положение производят в обратном порядке складывания.

Крепь усиления КУ предназначена для усиления металлической и деревянной рамной крепи штрека и надежного поддержания его в зоне проявления опорного горного давления впереди очистного забоя.

Она состоит из одинаковых рам (рис. 3.24), представляющих собой металлическую конструкцию из труб в виде шарнирного многоугольника, вписанного в деревянную раму штрека. Рама

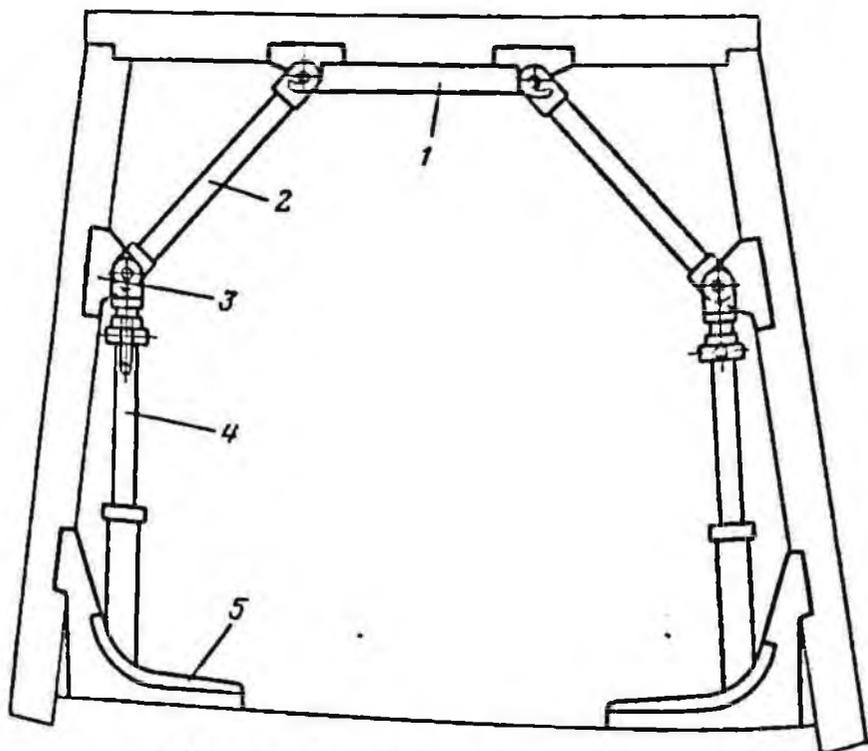


Рис. 3.24. Схема крепи усиления КУ

включает верхняк 1 с желобочными опорами, укосины 2, подвижные опоры 3, гидростойки 4 и опороподдерживающие башмаки 5, выполненные в виде двуплечих рычагов, одно плечо которых взаимодействует с почвой штрека, а другое — со стойками деревянной рамы. Укосины 2 шарнирно соединены одними концами с опорами верхняка, а другими — с подвижными опорами 3 и гидростойками 4. В свою очередь, гидростойки 4 соединены с опорно-поддерживающими башмаками посредством сферических опор.

#### Техническая характеристика крепи КУ

Конструктивная высота крепи, мм	2100—2670
Рабочее сопротивление, кН:	
гидростойки . . . . .	200
одной рамы . . . . .	500
Удельное давление на почву, МПа	1,51

Крепь усиления КУ применяют в вентиляционных штреках трапецевидной формы площадью сечения в свету 5,7—6,7 м<sup>2</sup>, которые перекрываются секциями очистных механизированных комплексов. Штреки при этом крепят неполными металлическими или деревянными рамами.

Крепь обеспечивает сохранение штрека в рабочем и безопасном состоянии, исключает возведение дополнительной вандрутной крепи и расход леса на нее, а также значительно снижает трудоемкость работ по поддержанию штрека перед лавой по сравнению с использованием деревянных вандрутов. При применении крепи усиления увеличивается свободное пространство в штреке и улучшается проход людей в зоне проявления опорного горного давления.

В то же время выявлено, что имеют место случаи вдавливания опорных башмаков в почву выработки, что осложняет ремонт монтаж крепи усиления.

Гидравлическая стойка типа ГСК предназначена для усиления основной штрековой крепи в выемочных выработках в зоне опорного горного давления и при ведении вспомогательных работ. Гидростойка (рис. 3.25) состоит из корпуса 1, штока 2, насадки 3, нижней опоры 5. К нижней опоре приваривают П-образную скобу 6 из полосы 12×180 мм, предназначенную для снижения удельного давления на почву выработки при рабочем состоянии гидростойки. Под гидростойку на почву выработки укладывают деревянные лежни 7 длиной 2,5—3 м.

В зоне опорного давления лавы (5—15 м впереди линии очистного забоя) гидростойки применяют по двум схемам.

При первой схеме под основную крепь в выемочных штреках устанавливают деревянные прогоны 4 длиной 2,5—3 м в одну или две нитки. Под каждый прогон возводят две—три гидростойки типа ГСК. По мере подвигания лавы и погашения штре-

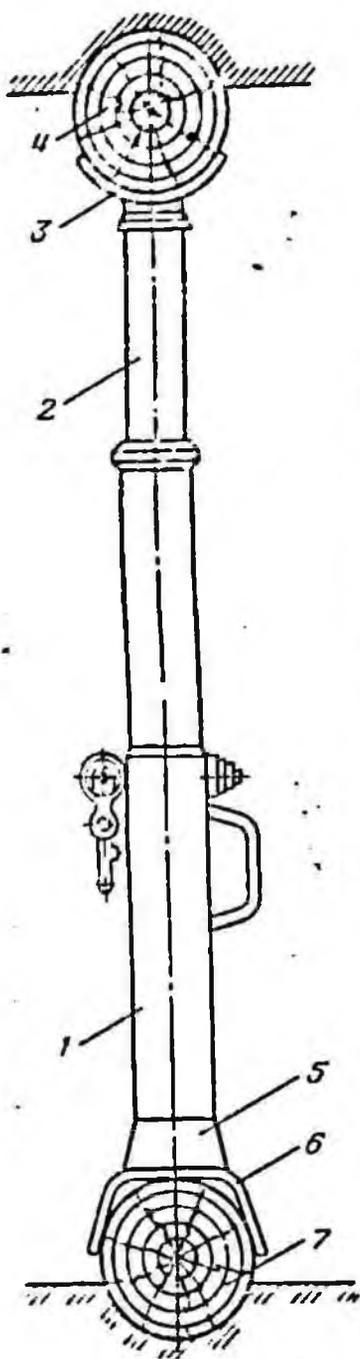


Рис. 3.25. Схема гидравлической стойки типа ГСК

они дешевле на 15—20% и долговечнее в эксплуатации по сравнению с металлическими креплениями (особенно при наличии агрессивных вод). Отдельные их конструкции обладают шарнирностью, поэтому хорошо работают в условиях упругого отпора пород, рационально распределяя неравномерные нагрузки по контуру выработки.

ков гидростойки: перед передвижкой крепи сопряжения снимают, переносят вперед, где восстанавливают вновь.

Вторая схема предусматривает использование гидростоек без деревянных прогонов. В таком случае их устанавливают непосредственно под верхняк каждой рамы основной штрековой крепи.

Один из важных факторов успешной работы гидростоек — правильный выбор их типоразмера. При неправильном выборе типоразмера снижается эффективность их применения из-за того, что стойки при эксплуатации выходят на жесткий режим работы и деформируются или, исчерпав свою раздвижность, не создают распора. Поэтому перед тем, как заказать стойки, рекомендуется произвести расчет.

Основные преимущества гидравлических стоек по сравнению со стойками трения и деревянными заключаются в улучшении состояния кровли за счет стабильной характеристики постоянного сопротивления, высокого начального распора и малой величины упругой податливости до набора рабочего сопротивления; простоты и легкости установки и извлечения стоек; повышения производительности труда при погашении выемочных штреков и выполнении вспомогательных работ.

Железобетонная крепь. При проведении выработок главных направлений с большим сроком службы в условиях слабых вмещающих пород применяют железобетонные крепи (рамные, монолитные и сборные блочные конструкции).

Сборные железобетонные крепи (рамные и блочные) изготавливают на заводе из высокопрочных материалов,

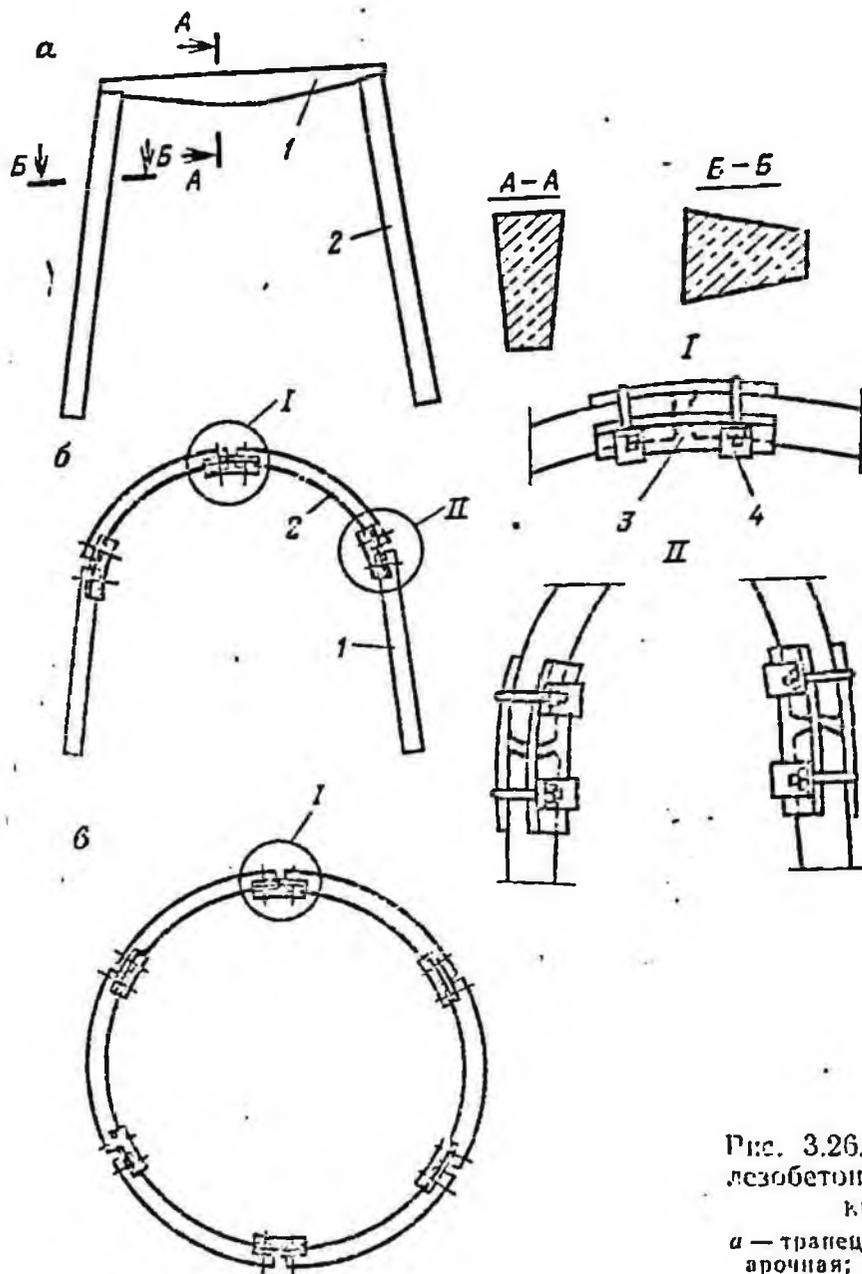


Рис. 3.26. Схема железобетонной рамной крепи:

а — трапециевидная; б — арочная; в — кольцевая

Область применения крепей ограничивается выработками, которые эксплуатируются в условиях установившегося горного давления (вне зоны влияния очистных работ) с незначительными величинами смещения вмещающих пород. Сдерживающим фактором служит также большой вес элементов и отсутствие средств механизации возведения крепи. В практике используют трапециевидные, арочные и кольцевые конструкции.

Трапециевидная железобетонная рамная крепь (рис. 3.26, а) предназначена для крепления однопутных горных выработок, проводимых в устойчивых породах с

ТАБЛИЦА 3.9

Показатели	Верхняк		Стойка		
	600	900	—	—	—
Колея рельсового пути в выработке, мм	600	900	—	—	—
Длина элементов, м	2,28	2,58	2,50	2,70	2,90
Несущая способность элементов, кН:					
на сжатие	300—400	300—400	300—400	300—400	300—400
на поперечный изгиб	8	8	34	34	34
Масса элемента, кг	89	109	105	115	125

легкими и средними условиями поддержания, не испытывающих влияния очистных работ.

Она не имеет конструктивной податливости и состоит из верхняка 1 и двух стоек 2, изготавливаемых из бетона М400. Верхняк 1 по длине сплошного переменного трапецевидного сечения с выемкой и упором на концах для соединения со стойками 2, армирован сварным Т-образным каркасом из стали периодического профиля. Стойки 2 имеют также сплошное трапецевидное сечение с прямоугольной частью на верхнем конце для соединения с верхняком и служат для сборки как трапецевидных, так и арочных крепей, выпускаемых заводом ЖБИ комбината «Мосбассшахтострой».

Техническая характеристика элементов приведена в табл. 3.9.

Арочная железобетонная рамная крепь предназначена для крепления двухпутных выработок в условиях устойчивой почвы. Крепежная рама (рис. 3.26, б) состоит из двух железобетонных стоек 1 длиной 2,1—2,5 м и двух железобетонных унифицированных элементов 2. Одна из стоек в месте соединения с унифицированным элементом имеет выпуклость, а другая — вогнутость. В остальной конструкции стоек аналогична, применяемым в трапецевидной крепи.

Унифицированный элемент имеет криволинейную форму с внутренним радиусом 2,25 м и такой же длиной по хорде. На одном конце элемента сделана выпуклость по радиусу, а на другом — вогнутость того же радиуса. Поперечное сечение элемента трапецевидное. Стойки 1 и унифицированные элементы 2 собираются в раму с помощью отрезков спецпрофиля 3 и замков 4. Крепь может иметь жесткую и ограниченно-податливую рабочую характеристику. В первом случае элементы рамы соединены таким образом, чтобы касались торцами друг друга, во втором — чтобы между ними оставался зазор на величину податливости (чаще всего 60 мм). Характеристика крепи приведена в табл. 3.10.

ТАБЛИЦА 3.10

Показатели	Двухпутная выработка с колесей рельсового пути, мм	
	600	900
Площадь поперечного сечения выработки, м <sup>2</sup> :		
в проходке	12,9	15,9
в свету	10,8	12,9
Несущая способность рамы, кН	240	240
Унифицированный элемент, мм:		
длина по хорде	2250	2250
радиус кривизны	2250	2250
ширина по верху	150	150
ширина по низу	50	50
высота	165	165
Масса, кг	107	107

Кольцевая железобетонная рамная крепь (рис. 3.26, в) предназначена для крепления двухпутных главных откаточных и главных вентиляционных выработок в средних и тяжелых условиях со слабыми вмещающими породами и всесторонним горным давлением.

Крепь собирается из пяти (для выработки с колеей 600 мм) или шести (для выработки с колеей 900 мм) унифицированных элементов. Параметры унифицированного элемента приведены в табл. 3.10, основные данные по кольцевой крепи — в табл. 3.11.

Монолитную железобетонную (металлобетонную) крепь применяют в особо сложных горно-геологических условиях в штреках главных направлений с длительным сроком службы. Арматурой служат рамы крепи криволинейного очертания, изготовленные из спецпрофилей СВП22 или СВП27. Чаще всего используют арочные крепи КЖК, АШП, реже кольцевая крепь с пологим лежнем типа КМК и арочная АШВ.

ТАБЛИЦА 3.11

Показатели	Двухпутная выработка с колесей рельсового пути, мм	
	900	600
Площадь поперечного сечения выработки, м <sup>2</sup> :		
в свету	15,8	10,5
в проходке	19,0	12,8
Несущая способность рамы, кН	300	300
Расход бетона М400, м <sup>3</sup>	0,231	0,193

Вначале проводят выработку и крепят ее металлическими рамами из спецпрофиля СВП, затем с отставанием от забоя устанавливают опалубку и укладывают за нее бетон. Укладку бетона в последнее время осуществляют механизированным способом.

Сборная блочная железобетонная крепь кольцевого очертания. Наибольший интерес среди конструкций этого типа крепи представляет сборная железобетонная крепь из клиновых блоков.

Крепь предназначена для крепления капитальных (магистральных) выработок при их проведении щитовым комплексом КЩ5,2Б на шахтах Подмосквовного бассейна. Она имеет кольцевую форму в поперечном сечении выработки с внутренним диаметром 4,7 м. Состоит из шести блоков двух типов, укладываемых в кольцо с их перевязкой и без перевязки (на рис. 3.27, а показана схема сборки крепи с перевязкой блоков).

Конструкция клинового блока первого типа (рис. 3.27, б) имеет гребень вдоль укороченной продольной грани и паз вдоль ее длинной грани; второго типа — выполнена с противоположным размещением гребня и паза на продольных гранях. Сборку блоков в кольцо осуществляют по скошенным торцам с цилиндрическими поверхностями разной кривизны, для этого один торец блока имеет выпуклость с радиусом 200 мм, а второй — вогнутость радиусом 240 мм. Цилиндрические вогнутости и выпуклость скошенных торцов блоков первого и второго типов также размещены противоположно. Клиновые блоки с уклоном  $12^\circ$  имеют толщину 200 мм и ширину 1000 мм. Масса блока 1280 кг.

Блоки снабжены монтажными петлями для захвата их блокоукладчиком щита и коническими отверстиями диаметром 50—60 мм для распалубки и транспортирования.

Арматурные каркасы изготавливают из горячекатанной стали в виде плоских сеток, которые затем изгибаются валками по проектной величине и перед укладкой в форму соединяются в пространственный каркас. В блоках применен вариант армирования с двухсторонним выпуском поперечной арматуры верхней сетки, концы которой отгибаются на  $90^\circ$ , исключая тем самым необходимость применения сеток продольных граней.

Блоки изготавливают из бетона М300. При площади поперечного сечения выработки в свету  $17,4 \text{ м}^2$  (в проходке  $20,4 \text{ м}^2$ ) расход бетона составляет  $3,07 \text{ м}^3$ .

Смешанная крепь. Смешанной называют крепь, основные несущие элементы которой выполнены из разнородных крепежных материалов. Наибольшее распространение получили трапециевидная и арочная рамная.

Трапециевидную крепь применяют в выемочных выработках со сроком службы 2—3 года при отсутствии пучения.

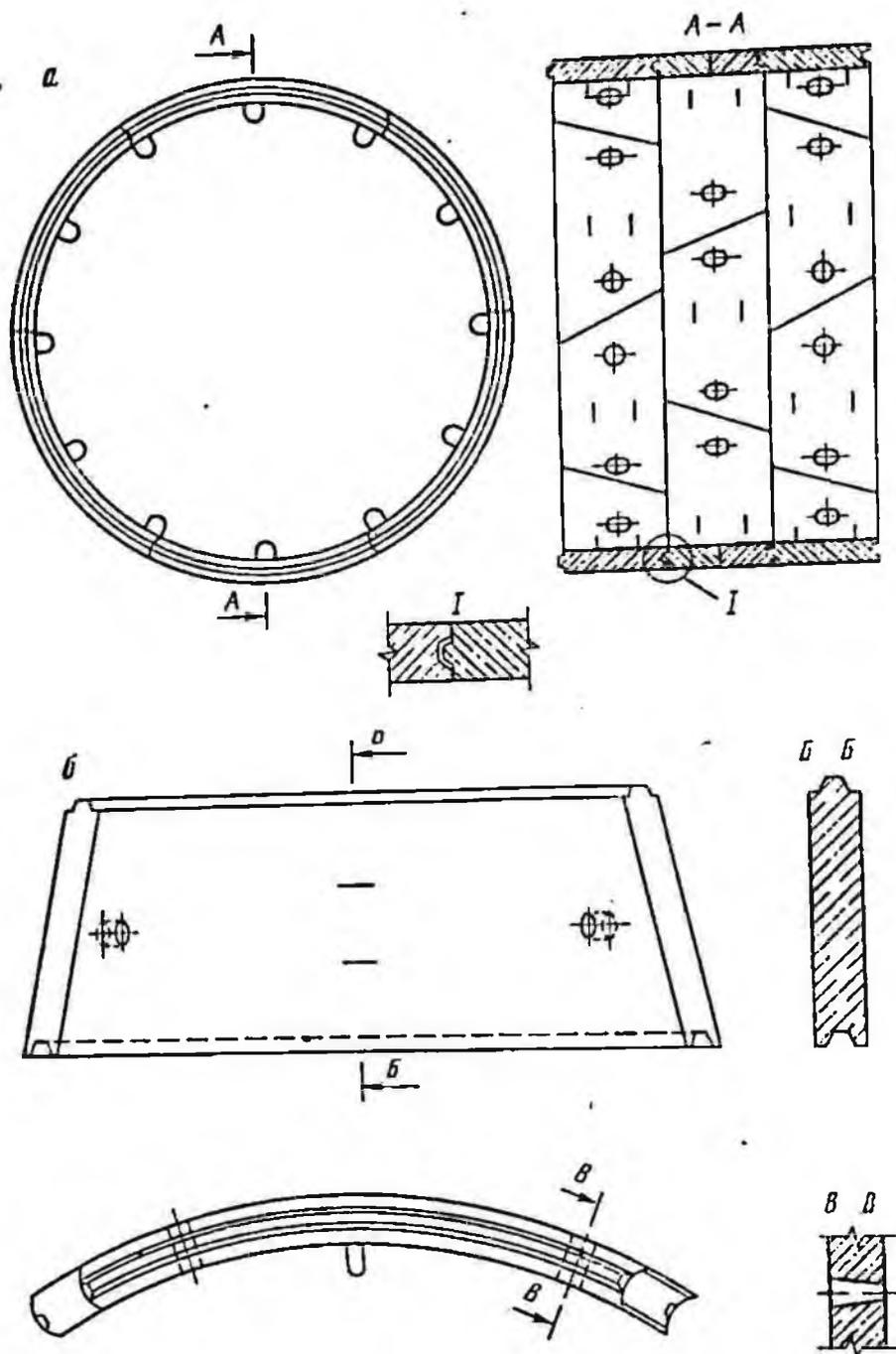


Рис. 3.27. Схема крепи из железобетонных клиновых блоков: а — схема сборки крепи с перевязкой блоков; б — конструкция клинового блока

пород почвы. Рамы крепи состоят (рис. 3.28, а) из металлических верхняков 1, изготавливаемых из спецпрофилей СВП22 или СВП27 и двух деревянных стоек 2. Верхнюю часть стоек 2 заделывают под клин таким образом, чтобы они входили в профиль. От перемещения во внутрь выработки стойки удерживают штырем 3, который вставляют в проушины 4. Наибольшее

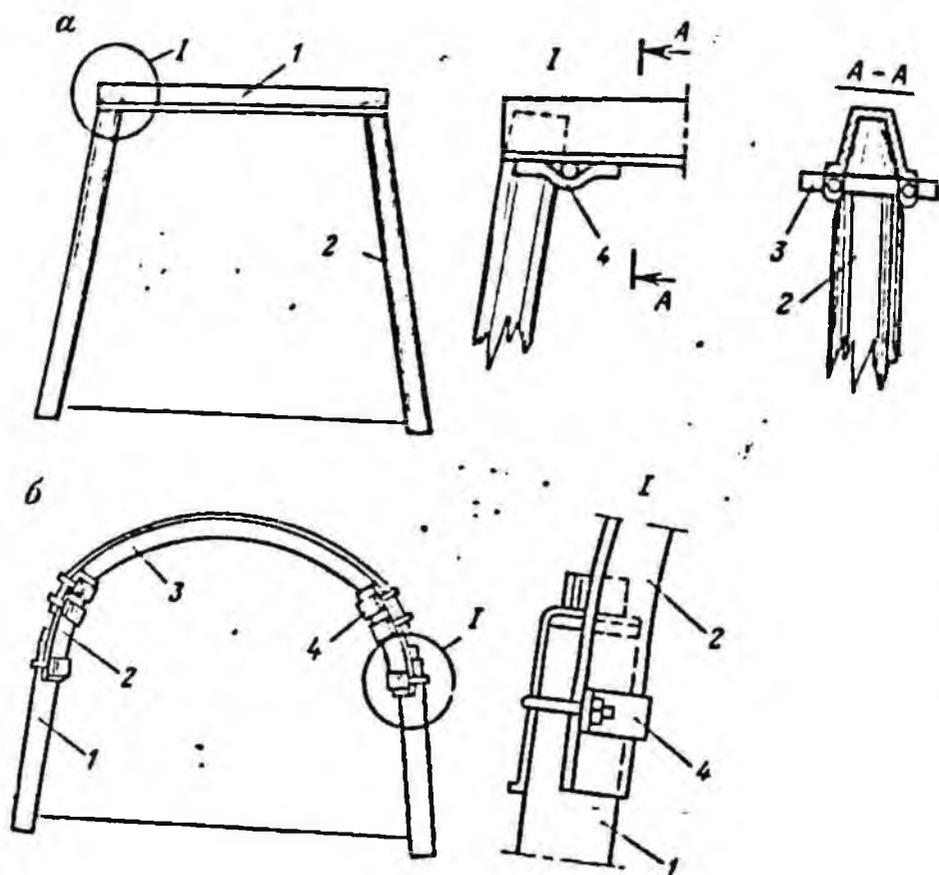


Рис. 3.28. Схемы смешанных рамных крепей:  
 а — трапециевидная; б — арочная СПК

распространение она получила на шахтах Днепровского бурого угольного бассейна. В ПО «Александрияуголь» работает специальный станок по заделке деревянных стоек для такой крепи. Арочная крепь СПК предназначена для крепления выработок главных направлений в легких и частично в средних условиях поддержания. Она состоит (рис. 3.28, б) из отдельных рам с железобетонными стойками 1 сплошного трапециевидного поперечного сечения и металлическими арочной формы верхняков 3 из спецпрофиля СВП. На каждой стойке жестко закреплен скобами переходник 2 из отрезка спецпрофиля, с которым соединен внахлестку металлический верхняк — арка при помощи замковых соединений 4, образуя податливый узел. Наличие переходника делает крепь более надежной по сравнению с крепями, в которых металлический верхняк непосредственно соединен с железобетонными стойками. Несущая способность рамы крепи после исчерпания податливости достигает 300 кН. Межрамные ограждения предназначены для передачи горного давления на крепь и защиты рабочего пространства выработки от проникновения в нее горных пород.

На угольных шахтах применяют в основном деревянные и железобетонные затяжки. В последние годы начали использовать решетчатые сварные и рулонные плетенные металлические, рулонные стеклотканевые межрамные ограждения (затяжки). Конструктивно их разделяют на жесткие и гибкие. К жестким относят те затяжки, которые, будучи возведенными в выработке, работают как балки на двух-трех опорах. Гибкими считают те затяжки, которые не обладают жесткостью, допускают провисание между рамами и их можно рассматривать при расчетах как гибкую систему.

На шахтах Подмосквовного бассейна получили распространение только жесткие затяжки — деревянные и железобетонные. В 1984 г. на шахте «Подмосковная» были проведены испытания стеклотканевой затяжки. Объем испытаний — 50 м выработки, затягивалась только кровля, поэтому сделать вывод о технической и экономической целесообразности их применения при наличии по контуру выработки слабых, сыпучих пород не представляется возможным.

Деревянную затяжку изготавливают непосредственно в забое подготовительных выработок в период ее проведения из обаяала, досок различной толщины и распила. Ширина затяжки зависит от исходного материала, а длина принимается в соответствии с паспортом проведения и крепления подземных выработок.

Деревянную затяжку можно использовать при всех видах рамных крепей как временную или постоянную. Из-за гниения область ее применения ограничивается выработками со сроком службы до 3—4 лет, с легкими, средними и тяжелыми условиями поддержания. Как правило, это выемочные штреки, сбойки всевозможного назначения, монтажные камеры и пр. Изготавливают затяжки вручную.

При креплении выработок с продолжительным сроком (более 3—4 лет) металлической, смешанной и сборной железобетонной крепями применяют железобетонные затяжки двух типов: плоские прямоугольные и кессонные (фасонные). Выпускают их серийно заводом ЖБИ комбината «Мосбассшахтострой».

Плоская железобетонная затяжка (разработчик ПНИУИ) представляет собой плиту прямоугольного сечения из бетона с металлической проволочной арматурой в виде сетки с прямоугольными ячейками (рис. 3.29, а). Арматура расположена ближе к одной из широких плоскостей и состоит из трех продольных стержней диаметром 6,5 мм и пяти поперечных стержней диаметром 3—5 мм, соединенных точечной электросваркой. Затяжки изготавливают из бесщебеночного бетона М300 на порландцементе М400 или М500 и речном песке. Выпускают их четырех типоразмеров по длине 400, 800, 650 и 1000 мм. При этом

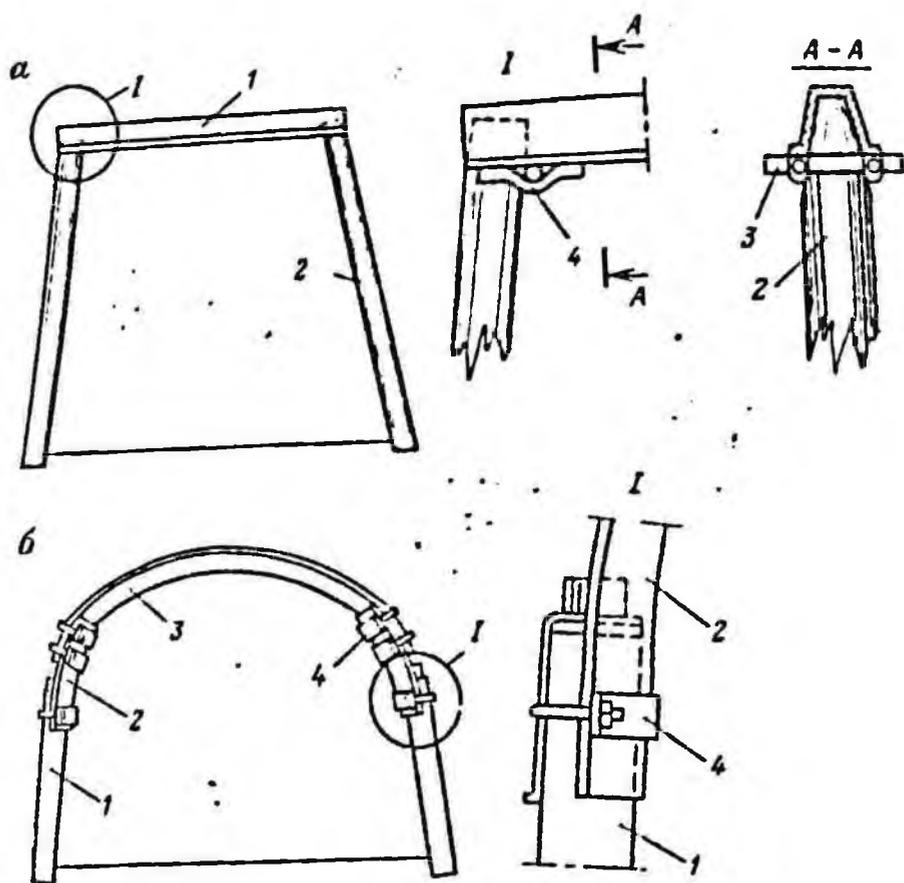


Рис. 3.28. Схемы смешанных рамных крепей:  
 а — трапециевидная; б — арочная СПК

распространение она получила на шахтах Днепровского бурого угольного бассейна. В ПО «Александрияуголь» работает специальный станок по заделке деревянных стоек для такой крепи. Арочная крепь СПК предназначена для крепления выработок главных направлений в легких и частично в средних условиях поддержания. Она состоит (рис. 3.28, б) из отдельных рам с железобетонными стойками 1 сплошного трапециевидного поперечного сечения и металлическими арочной формы верхняков 3 из спецпрофиля СВП. На каждой стойке жестко закреплен скобами переходник 2 из отрезка спецпрофиля, с которым соединен внахлестку металлический верхняк — арка при помощи замковых соединений 4, образуя податливый узел. Наличие переходника делает крепь более надежной по сравнению с крепями, в которых металлический верхняк непосредственно соединен с железобетонными стойками. Несущая способность рамы крепи после исчерпания податливости достигает 300 кН. Межрамные ограждения предназначены для передачи горного давления на крепь и защиты рабочего пространства выработки от проникновения в нее горных пород.

На угольных шахтах применяют в основном деревянные и железобетонные затяжки. В последние годы начали использовать решетчатые сварные и рулонные плетеные металлические, рулонные стеклотканевые межрамные ограждения (затяжки). Конструктивно их разделяют на жесткие и гибкие. К жестким относят те затяжки, которые, будучи возведенными в выработку, работают как балки на двух-трех опорах. Гибкими считают те затяжки, которые не обладают жесткостью, допускают провисание между рамами и их можно рассматривать при расчетах как гибкую систему.

На шахтах Подмосквовного бассейна получили распространение только жесткие затяжки — деревянные и железобетонные. В 1984 г. на шахте «Подмосковная» были проведены испытания стеклотканевой затяжки. Объем испытаний — 50 м выработки, затягивалась только кровля, поэтому сделать вывод о технической и экономической целесообразности их применения при наличии по контуру выработки слабых, сыпучих пород не представляется возможным.

Деревянную затяжку изготавливают непосредственно в забое подготовительных выработок в период ее проведения из обапала, досок различной толщины и распила. Ширина затяжки зависит от исходного материала, а длина принимается в соответствии с паспортом проведения и крепления подземных выработок.

Деревянную затяжку можно использовать при всех видах рамных крепей как временную или постоянную. Из-за гниения область ее применения ограничивается выработками со сроком службы до 3—4 лет, с легкими, средними и тяжелыми условиями поддержания. Как правило, это выемочные штреки, сбойки всевозможного назначения, монтажные камеры и пр. Изготавливают затяжки вручную.

При креплении выработок с продолжительным сроком (более 3—4 лет) металлической, смешанной и сборной железобетонной крепями применяют железобетонные затяжки двух типов: плоские прямоугольные и кессонные (фасонные). Выпускают их серийно заводом ЖБИ комбината «Мосбассшахтострой».

Плоская железобетонная затяжка (разработчик ПНИУИ) представляет собой плиту прямоугольного сечения из бетона с металлической проволочной арматурой в виде сетки с прямоугольными ячейками (рис. 3.29, а). Арматура расположена ближе к одной из широких плоскостей и состоит из трех продольных стержней диаметром 6,5 мм и пяти поперечных стержней диаметром 3—5 мм, соединенных точечной электросваркой. Затяжки изготавливают из бесщебеночного бетона М300 на портландцементе М400 или М500 и речном песке. Выпускают их четырех типоразмеров по длине 400, 800, 650 и 1000 мм. При этом

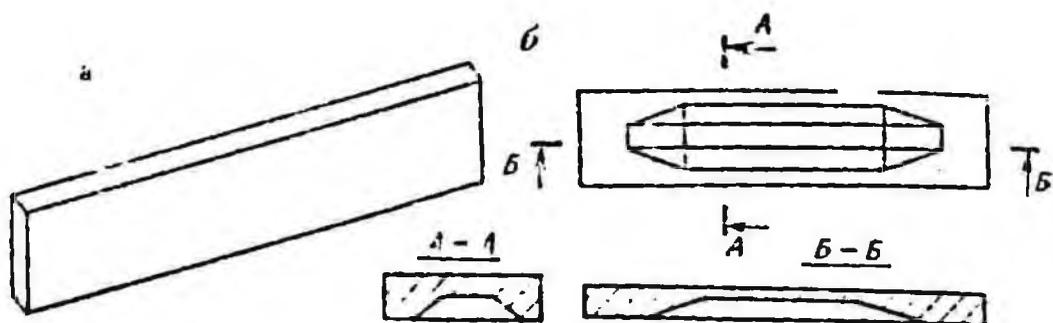


Рис. 3.29. Железобетонные затяжки:  
а — плоская; б — кессонная

ширина и толщина у всех типоразмеров одинакова и составляет соответственно 200 и 40 мм.

Затяжки изготовляют в металлических формах в следующей последовательности: металлическую сетку и бетонную массу укладывают в металлические формы и устанавливают на виброплощадку, где производят вибрацию в течение 60—90 с. Затем формы снимают и переносят в пропарочную камеру, где их подвергают термообработке. При этом соблюдается следующий режим термообработки: подъем пара до температуры 70—80 °С — 3 ч, пропаривание изделий при 80—90 °С — 8—10 ч, спад температуры и остывание — 2—3 ч. После термообработки формы вынимают на площадку, где производят их распалубку.

Кессонная затяжка (разработчик ВНИИОМШС) представляет собой прямоугольную плиту, у которой с одной стороны плоскости имеется выемка (кессон) (рис. 3.29, б). Сечение в кессонной части швеллерное, а на опорах — прямоугольное. Кессон обеспечивает правильную ориентацию рабочей арматуры, которая имеет пространственную конструкцию. Затяжки формуется из обычного тяжелого бетона или эффективных видов бесщебеночного мелкозернистого бетона, обеспечивающих бетон не ниже М300.

Выпускаются 12 типоразмеров затяжек. На шахтах Подмосквовного бассейна кессонную затяжку применяют длиной 800 и 1000 мм.

Армирование затяжек производят из арматурной стали: продольные рабочие стержни каркасов — из горячекатанной периодического профиля класса А — III, поперечные распределительные стержни и продольный монтажный стержень — из обычной арматурной проволоки класса В — I. Кессонные затяжки изготавливают также вручную по технологии, предусмотренной техническими условиями. Укладывают их в крепь кессоном внутрь выработки.

Организация работ при креплении выработок с применением железобетонных затяжек аналогична работе при возведении крепи с деревянными затяжками.

Железобетонные затяжки не подвержены гниению, поэтому при давлении пород, соответствующем прочности затяжки, они обеспечивают безремонтное поддержание выработок; имеют высокую пожаробезопасность и сравнительно низкую трудоемкость возведения, составляющую 0,36 чел-смен/м выработки.

Изготовление затяжек вручную и применение материалов, не соответствующих техническим условиям, повышает их стоимость (они более чем в два раза дороже деревянных затяжек) и снижает качество. В результате возможна преждевременная деформация затяжек в подземных условиях. Кроме того, в связи с хрупкостью железобетона затяжки требуют аккуратного отношения при погрузочно-разгрузочных работах и по экономическим соображениям не могут использоваться в выработках, подверженных влиянию очистных работ.

Железобетонные затяжки применяют во всех условиях поддержания в магистральных (главных) штреках, в выемочных штреках в пределах охранных целиков и участков выработок для приводных механизмов конвейеров, участковых погрузочных пунктах, камерах для участковых распределительных пунктов и пр.

#### 3.4. Условия и область применения крепей

Область целесообразного применения крепей подготовительных горных выработок зависит от влияния значительного количества факторов. Основные из них: назначение и срок службы выработки, состав и строение вмещающих ее пород, величина и характер проявления горного давления и смещения пород контура выработки, длительность выполнения операций при ее проведении, объем ремонта и затраты на поддержание, трудоемкость возведения и извлечения крепи, стоимость ее изготовления, проветривание выработки и др.

Величина и характер горного давления и смещения вмещающих пород влияют на выбор несущей способности крепи. При этом ее рабочее сопротивление должно соответствовать величинам нагрузок и смещениям пород как со стороны кровли и боков, так и со стороны почвы выработки, обеспечивая безремонтное рабочее состояние ее в течение всего срока службы. Классификация условий поддержания выработок и рассчитанные для каждой из групп условий величины горного давления позволяют определить эффективную область применения существующих конструкций крепей.

Условия поддержания подготовительных долгосрочных выработок характерны тем, что через 3—6 мес после их проведения интенсивность проявления горного давления в них резко снижается и в большинстве случаев стабилизируется до погашения. В особо тяжелых условиях интенсивность проявления

горного давления имеет более длительный срок до стабилизации и составляет порой 1,5—2 года. Характерная особенность поддержания выемочных выработок — наличие зоны влияния очистных работ на проявление горного давления. Впереди движущегося очистного забоя (на определенном расстоянии от него) величина нагрузок на крепь резко увеличивается. Она зависит от условий поддержания и колеблется от 5 до 20 м и более. В зонах временного опорного давления формируются всесторонние нагрузки на крепь, часто интенсивно проявляется пучение глинистых пород почвы, в этом случае крепи должны быть замкнутой конструкции. В конструкции крепи должна быть заложена податливость от нагрузок: горизонтальных — в верхних и напочвенных элементах, вертикальных — в боковых элементах крепи.

Величина податливости должна составлять для боковых элементов 150—400 (до 700), в верхних 100—200 мм.

Правильный выбор формы крепи позволяет наиболее полно использовать несущую способность боковых пород и упругий отпор пород, а также обеспечить общую устойчивость крепи. При выборе формы крепи необходимо стремиться к тому, чтобы опасные изгибающие напряжения в конструкции были по возможности меньшими. Уменьшению изгибающих напряжений способствует придание элементам крепи криволинейной формы (кольцевые и арочные крепи). В действительности же получить идеальную форму крепи, совпадающую с кривой давления пород, не представляется возможным, так как распределение нагрузок по периметру сечения выработки изменяется во времени и в настоящее время изучено недостаточно полно.

Металлические (криволинейной конструкции) крепи обладают большими конструктивными возможностями и хорошими несущими способностями на изгиб, могут в значительных пределах деформироваться, что очень важно по сравнению с железобетонными (и деревянными) крепями, не обладающими такими свойствами.

Трапецевидные металлические крепи обладают рядом весьма ценных преимуществ, но их несущие элементы работают как балки на двух опорах и, следовательно, подвержены воздействию относительно больших изгибающих моментов, особенно в выработках с увеличенными пролетами. Поэтому применять их без средств усиления в выработках большого сечения неэкономично.

Для металлических конструкций крепей наиболее предпочтительны арочные замкнутые и кольцевой формы, особенно при наличии всестороннего давления.

Важный фактор, влияющий на величину усилий и общую работоспособность крепей — конструкция сопряжений элементов или степень жесткости (податливости) узлов.

Безремонтное содержание выработок (или с минимальным объемом ремонта) имеет весьма важное значение в экономическом и техническом смысле. Эффективность применения крепей (особенно металлических) возрастает при многократном их использовании. Поэтому трудоемкость извлечения при погашении выработок, удобство транспортирования, легкость восстановления элементов являются также очень важными факторами при выборе крепи. В этом случае крепи из прямолинейных элементов будут наиболее предпочтительными, чем аналогичные по назначению и площади сечения крепи из криволинейных элементов.

Деревянные рамные крепи целесообразно применять, например, для крепления выработок с небольшим (до 2—3 лет) сроком службы в условиях незначительных смещений боковых пород. Такая крепь пригодна для крепления выемочных выработок I и II групп по условиям поддержания, когда в почве пласта залегают сухие песчаные или глинистые породы.

Деревянную крепь используют в штреках при давлении горных пород до 50—60 кПа. Плотность возведения рам определяют исходя из несущей способности крепи, которую ориентировочно можно принимать (при установке одной рамы на 1 м выработки) равной 15—17 кН/м<sup>2</sup>.

Металлические рамные крепи, как уже отмечалось, обладают большой несущей способностью, применимы в породах любой устойчивости и в выработках как с установившимся горным давлением, так и в зоне влияния очистных работ.

Наибольшее распространение в условиях Подмосковского бассейна получили кольцевые металлические крепи (70—80% общего объема крепления металлом). Их применяют для крепления выработок площадью поперечного сечения в свету 5,7—16 м<sup>2</sup> в условиях всестороннего повышенного горного давления при пучащей почве.

Преимущественная площадь поперечного сечения выработок до 10 м<sup>2</sup>. Это объясняется сложностью поддержания штреков с большим сечением в условиях слабых и неустойчивых пород, так как развиваются значительные смещения на контуре выработки и повышенные нагрузки на крепь. 90% всей протяженности выработок, закрепленных металлической кольцевой крепью, приходится на выемочные, а остальные 10% — на главные (магистральные) выработки. Кольцевые крепи (трех- и четырехсегментные) с одинаковым радиусом кривизны всех сегментов составляют 20% всех кольцевых. В последние годы их заменяют кольцевыми крепями с выположенным лежнем (типа КМК), которые при практически полном сохранении несущей способности кольца позволяют сократить объем и трудоемкость работ по выемке породы в почве выработки под обратный свод.

ТАБЛИЦА 3.13

Группа условий подержания	Условия подержания														
	Легкие					Средние					Тяжелые				
	типы креплений	параметры креплений			типы креплений	параметры креплений			типы креплений	параметры креплений					
		r	t <sub>1</sub>	Δh		r	t <sub>1</sub>	Δh		r	t <sub>1</sub>	Δh			
I	С прямыми верхними креплениями: ТПК, МПК, ТПК	1,43	7	100	С прямыми верхними креплениями: ТПК, МПК, ТПК	1,43	7	150	С прямыми верхними креплениями: ТПК, КАТ	1,67	7	200			
II	С прямыми и криволинейными верхними креплениями: ТПК, АПК, КМК-П	1,67	8	250	С прямыми и криволинейными верхними креплениями: ТПК-ПЛ, БПК, АПК-П, КМК-П	2	10	300	С криволинейными верхними креплениями: АПК-10сл, КМК-П (КПК-ПЛ)	2	12	300			
		1,43	8	200		1,67	10	250		2	12	300			
III	С криволинейными верхними креплениями: АПК-П, КМК-П (КПК-ПЛ)	1,67	12	300	С криволинейными верхними креплениями: АПК-10сл, КМК-П (КПК-ПЛ)	2	12	350	С криволинейными верхними креплениями: АПК-10сл, КМК-П (КПК-ПЛ)	2,5; 3	15	400			
		1,67	12	300		2	12	350		2,5; 3	15	400			

Примечания:

1. Значения символов см. табл. 3.12.
2. Крепи ТПК, МПК усиливает со стороны выработанного пространства прогибом, ТПК — продольным лежнем.
3. Крепь КПК-ПЛ комплектуется болтовыми замками с фигурной планкой.

ТАБЛИЦА 3.14

Условия поддержания	Число путей в выработке	Ожидаемое давление, кН/м <sup>2</sup>	Крепи, рекомендуемые к применению	Применение крепей по условиям поддержания, %
Легкие	1	$\frac{60^*}{30}$	Железобетонная сборная трапециевидная незамкнутая крепь (ПНИУИ) Металлическая (СВП22, СВП27) трапециевидная незамкнутая Металлическая (СВП22) арочная незамкнутая	43
	2		Арочная сборная железобетонная незамкнутая (ПНИУИ) Металлическая (СВП22) арочная незамкнутая Смешанная арочная железобетонно-металлическая (ПСК) незамкнутая (ПНИУИ)	
Средние	1	$\frac{60-120}{30-60}$	Железобетонная сборная трапециевидная незамкнутая (ПНИУИ) Металлическая из коробчатого профиля трапециевидная Металлическая (СВП22, СВП27) арочная незамкнутая	35
	2		Железобетонная сборная шарнирная арочная незамкнутая крепь (ПНИУИ) Металлическая (СВП27) арочная незамкнутая или кольцевая с пологим лежнем Железобетонная сборная ограничительно-податливая из унифицированных элементов кольцевая (ПНИУИ)	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 3.14

Условия под- держания	Число путей в выработке	Ожидаемое давление, кН/м <sup>2</sup>	Крепи, рекомендуемые к применению	Применение крепей по ус- ловиям под- держания, %
Тяжелые	1; 2	$\frac{120-600^*}{60-500}$	Металлическая (СВП27) арочная и кольцевая с пологим лежнем Металлическая (СВП27) кольцевая с податливо- стью по диаметру 60— 100 мм Кольцевая сплошная бе- тонитовая Железобетонная (метал- лобетонная) аroachная замкнутая или кольце- вая с армировкой рама- ми (СВП27) Сборная блочная желе- зобетонная кольцевая крепь (ВНИИОМШС)	22

\* В числителе — горное давление со стороны кровли, в знаменателе — со стороны боков выработки.

менению существующих металлических крепей в выемочных выработках, проводимых в массиве угля, а в табл. 3.13 — впри- сечку к выработанному пространству.

Область применения крепей в выработках главных направ- лений (магистральных) на эксплуатируемых шахтах в зависи- мости от условий поддержания приведена в табл. 3.14.

Область применения узлов податливости и их работоспособность в металлической податливой крепи во многом зависят от конструкции и надежности работы замков, с помощью которых соединены элементы рам.

Из всего многообразия конструкций наибольшее распростра- нение получили болтовой замок с фигурной планкой и двух- клиновой замок с расположением продольной оси клиньев под углом к продольной оси спецпрофиля по направлению его дви- жения.

Эффективность применения замков хорошо иллюстрируется графиками их работы (рис. 3.30), из которых видно, что узел податливости с замками с плоской планкой (рис. 3.30, а) имеет нестабильную рабочую характеристику. При взаимном переме- щении спецпрофилей наблюдаются перекосы и защемления де- талей в узле, что приводит к росту усилия проскальзывания до максимальных значений, достигавших в отдельных случаях 130 кН. Детали замка вытягиваются и изгибаются, происходит «щелчок» (освобождение замка), и усилие проскальзывания па-

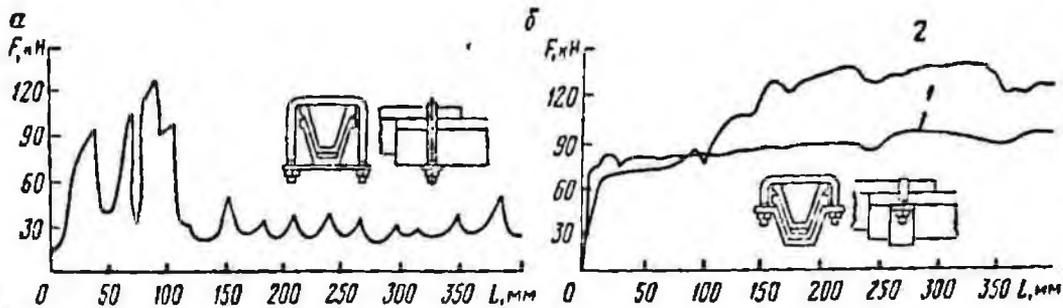


Рис. 3.30. Характеристики болтовых узлов податливости:

*a* — при замках с плоской планкой; *b* — при замках с фигурной планкой; 1 — по данным ПНИУИ; 2 — по данным ИГД им. А. А. Скочинского; *F* — усилие проскальзывания; *L* — смещение в узле (податливость)

дает до минимума (18 кН). Средние усилия составляют 30—40 кН.

Рабочая характеристика узла податливости с замками с фигурной планкой (рис. 3.30, б) представляет собой крутонаклонную линию, которая после достижения номинального усилия проскальзывания переходит в слабонарастающую практически прямую линию или имеет незначительные колебания нагрузки.

Номинальное усилие достигалось за 5—10 мм податливости в узле, абсолютная их величина зависела от усилия начального обжатия замков и типа спецпрофиля. При усилии обжатия 80 кН начальная нагрузка в узле для спецпрофиля СВП17 составляла 69 кН, для спецпрофиля СВП27 — 82 кН, конечные (при податливости 400 мм) — соответственно 96 и 145 кН. При усилии обжатия 120 кН конечные нагрузки в зависимости от типа спецпрофиля были в пределах 114—186 кН.

Из приведенных данных видно, что замки с фигурной планкой обладают существенными преимуществами по сравнению с замками с плоской планкой. Узлы податливости, собранные с ними, имеют устойчивую рабочую характеристику постоянного или слабонарастающего сопротивления. Болтовые замки с фигурной планкой позволяют значительно повысить устойчивость выработок за счет увеличения несущей способности крепи; в настоящее время их применяют на всех типах металлических крепей.

Замок считается эффективным, если он в течение работы сохраняет постоянство рабочей характеристики крепи и обеспечивает рабочее сопротивление рам, близкое к несущей способности этой рамы в жестком режиме. Несоблюдение этого требования снижает эффективность работы крепи и ведет к излишнему расходу металла.

При сопоставлении результатов применения замков с плоской и фигурной планками на кольцевой крепи с пологим леж-

нем диаметром 3,25 м, изготовленной из спецпрофиля СВП17, выявлено следующее:

при жестком режиме работы рама кольцевой крепи с пологим лежнем диаметром 3,25 м выдерживает нагрузку 240 кН. При работе в податливом режиме с замками с плоской планкой усилие сопротивления составляет всего 74 кН, а при фигурной планке — 160 кН. Таким образом, несущая способность профиля в первом случае используется на 30,8%, а во втором — на 75%.

Хорошие рабочие характеристики податливости показали клиновые узлы. На рис. 3.31 приведено их графическое изображение.

При взаимном перемещении спецпрофиля на 50 мм узел податливости с приваренными к спецпрофилю СВП планками (линия 1) имел нарастающую характеристику до усилия 53—58 кН. При дальнейшей податливости нагрузка в узле стабилизировалась и оставалась практически постоянной до конца продавливания. Перемещение элементов происходило плавно. Наблюдалось стругание фланцев спецпрофиля ребрами клиньев. Положительное в конструкции замка — возможность по-

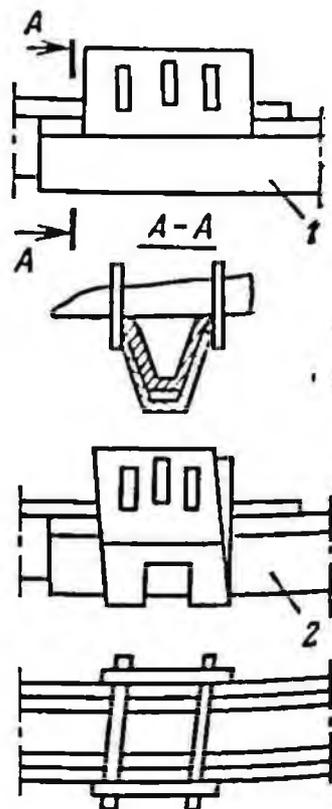
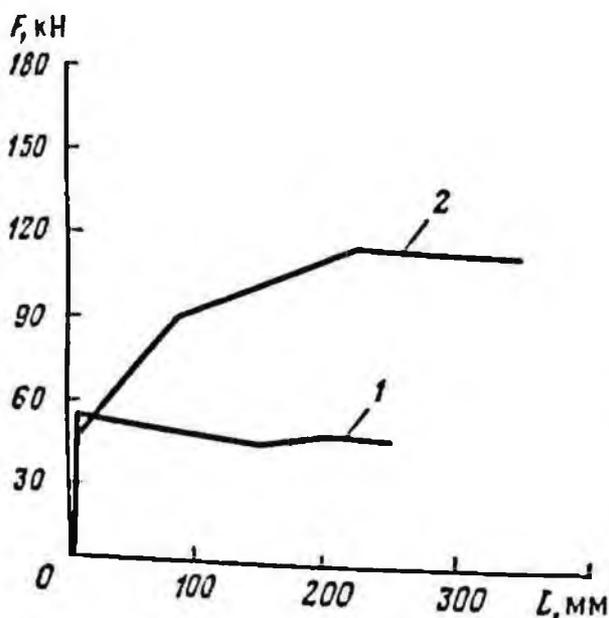


Рис. 3.31. Характеристики клиновых узлов податливости:  $F$  — усилие проскальзывания;  $L$  — смещение в узле (податливость)

вторного использования, малые потери деталей и наличие характеристики постоянного сопротивления.

В узлах податливости с накладной скобой (линия 2) сред-немаксимальное усилие составило 112 кН. Достигнуто оно при взаимном перемещении профилей на 250—270 мм. Затем нагрузка практически изменялась в незначительных пределах.

С учетом результатов исследований, для широкого применения в податливых соединениях металлических крепей из спец-профиля СВП рекомендованы болтовые замки с фигурной планкой и двухклиновые с приваренными планками и накладной скобой.

### 3.5. Изготовление металлических рамных крепей, извлечение, ремонт и их повторное использование

Технология изготовления крепей. Некачественно изготовлен-ные металлические крепи повышают трудоемкость работ при возведении и извлечении, не обеспечивают в полной мере их ра-бочую характеристику в период эксплуатации выработок, вы-зывают преждевременную потерю устойчивости штреков. По-этому достижению высокого качества крепи за счет совершен-ствования технологии ее изготовления должно придаваться важное значение.

Существующая технология производства крепей основана на рубке металлопроката на мерные заготовки, придании им нуж-ной формы методом гибки, пробивке отверстий, нарезке резь-бы и пр. Рубку спецпрофиля СВП, полосовой или круглой ста-ли различного сортамента на заготовки определенных разме-ров и пробивку отверстий осуществляют с помощью штампов на кривошипных или гидравлических прессах.

При гибке наибольшее распространение получили следую-щие схемы: изгиб заготовки из спецпрофиля в инструменталь-ных штампах на кривошипных или гидравлических прессах (рис. 3.32, а), изгиб заготовки (спецпрофиля СВП) прокаткой на роликовых или копировально-гибочных станках (рис. 3.32, б).

Первую схему используют для получения криволинейных

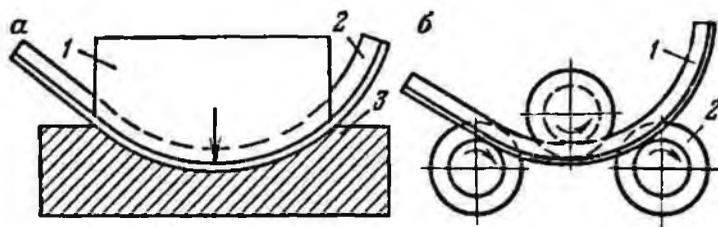


Рис. 3.32. Схемы изготовления металлических крепей:

а — изгиб заготовки из профиля в штампах: 1 — пуансон; 2 — спецпрофиль; 3 — матрица;  
б — изгиб заготовки из профиля прокаткой: 1 — спецпрофиль; 2 — деформирующий ро-лик

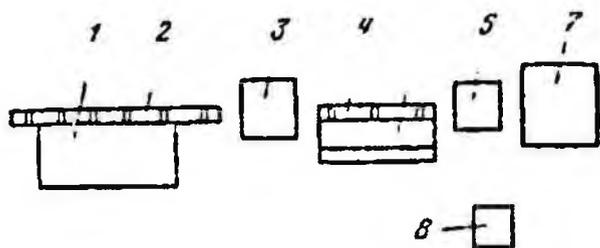


Рис. 3.33. Технологическая линия изготовления крепей

элементов из спецпрофиля СПП, фигурных планок, замков, скоб и пр. Она проста и относительно дешева, однако при изгибе элементов из спецпрофиля необходимо многократное повторение цикла формовки, что резко снижает производительность труда. Кроме того, данная схема отличается невысоким классом точности.

Вторая схема заключается в том, что готовый элемент крепи образуется в результате поперечного изгиба, вызванного перемещением заготовки между деформирующими роликами, профиль которых согласуется с формой профиля заготовки. Недостатки: нестабильность размеров, сложность получения элементов переменного радиуса, образование на концах элементов прямолинейных участков недоката.

Скобы для замков (по этой схеме) изготавливают на специальных барабанно-гибочных машинах.

Криволинейные элементы крепи из спецпрофиля прокатываются в холодном состоянии. Это приводит к изменению механических свойств стали, значительно снижаются относительное удлинение и ударная вязкость, увеличивается склонность к механическому старению, что приводит к преждевременному хрупкому разрушению крепи даже при напряжениях, не достигающих предела текучести. Поэтому с увеличением кривизны изгиба эксплуатационная характеристика крепи снижается. Уменьшение пластичности металла в результате изгиба в холодном состоянии снижает возможности восстановления деформированной крепи для ее повторного использования. Поэтому готовить крепь предпочтительно непосредственно при прокате спецпрофиля в состоянии прокатного нагрева.

Наиболее распространенная технологическая линия по производству элементов крепи из спецпрофиля СПП приведена на рис. 3.33.

Пруток из спецпрофиля СПП со стеллажа 1 попадает на транспортное средство (рольганг 2) и доставляется в кривошипный пресс 3, где отрубается мерная заготовка. При изготовлении прямолинейных элементов последние поступают на приемный стол 5, откуда пакетами отправляются на склад или на сварочный участок для приварки необходимых деталей. Заготовка под криволинейный элемент после пресса 3 доставляется рольгангом 4 в рабочую машину 6. Изогнутый элемент на-

правляется в укладчик 7 для пакетировки, а в случае необходимости (при изготовлении кольцевой крепи с пологим лежнем) поступает к гидравлическому прессу 8, где производится гибка концов и последующая пакетировка.

Крепи изготавливают в специализированных цехах рудоремонтных заводов и центральных электромеханических мастерских производственного объединения бассейна. Существующие средства и способы производства металлических крепей требуют дальнейшего совершенствования в направлении создания высокопроизводительных поточных технологических линий с высокой степенью механизации и автоматизации всех работ и повышения точности изготовления.

Значительное повышение качества крепей может быть достигнуто при изготовлении элементов из спецпрофиля на металлургических заводах при его прокатке или по специальной технологии в нагретом состоянии централизовано на одном из заводов бассейна.

Внедрение новой технологии производства крепей должно коренным образом повысить их качество и производительность труда рабочих, снизить потери металла и себестоимость выпускаемых конструкций.

Основные факторы, влияющие на уровень извлечения и повторного использования крепи. Объем извлечения металлической крепи из погашаемых выработок и повторное ее использование зависят от многих факторов. Основные из них следующие.

Недостаточная работоспособность существующих механизированных крепей сопряжений. Применение механизированных крепей сопряжения обеспечивает более полное извлечение металлической рамной крепи при погашении выемочных выработок. Однако существующие конструкции крепей сопряжения неработоспособны и неэффективны в условиях поддержания выработок с высокой степенью обводненности вмещающих пород, слабой и неустойчивой кровлей, низкой несущей способностью и большой подрывкой почвы. Поэтому многие очистные забои работают при поддержании их сопряжений со штреками деревянной крепью или при использовании индивидуальных стоек типа ГСК. При погашении таких выработок практически можно извлекать только боковые элементы металлической крепи, расположенные со стороны лавы, т. е. в пределах 25—40% общей металлоемкости крепи. При оборудовании сопряжений лав механизированными крепями сопряжений типов Т-6к, УМКС и секциями лавных механизированных крепей в средних и близких к тяжелым условиям поддержания крепь можно извлекать в следующих объемах:

на конвейерных штреках, проведенных в целиках, — все боковые элементы, т. е. не более 50% от металлоемкости крепи;

проведенных вприсечку к выработанному пространству, — все боковые элементы со стороны очистного забоя и не более 50% (т. е. на каждой второй раме) боковых элементов с противоположной стороны. Это составляет приблизительно 38% металлоемкости крепи;

на вентиляционных штреках, проведенных в целиках, — все боковые элементы и лежни, т. е. в пределах 75% металлоемкости всей крепи; проведенных в присечку к выработанному пространству — все боковые элементы со стороны очистного забоя и в пределах 50% боковых элементов с противоположной стороны, т. е. не более 38% металлоемкости всей крепи.

В целом в тяжелых горно-геологических условиях с применением механизированных крепей сопряжений и линейных секций лавных механизированных крепей из погашаемых выработок можно извлекать 45—55% общей металлоемкости крепи выработок. В легких и средних условиях на отдельных шахтах крепь извлекается полностью.

Отсутствие средств механизации работ по извлечению крепи. Выпускаемые в настоящее время промышленностью станки МИК-2 и МИК-3 не могут быть применены для этой цели, так как на конвейерном штреке располагаются транспортные средства, на вентиляционном — насосная станция, электрооборудование, лесные и прочие материалы. Кроме того, данная техника не подходит в связи с тем, что в Подмосковном бассейне выемочные выработки проводят пониженного сечения. Поэтому в бассейне нет специальных средств механизации работ по извлечению крепи. В качестве вспомогательных средств здесь используют ручные тали, индивидуальные гидравлические стойки типа ГСК, телескопические винтовые стойки ВК-7, отбойные молотки, в отдельных случаях приспособляют гидродомкраты, тягальные лебедки. Все это предопределяет высокую трудоемкость работ и неэффективность их выполнения.

Сложность доставки извлеченных элементов. Перемещение извлеченных элементов (особенно криволинейной формы) ленточными конвейерами в местах пересыпа с одного на другой сопряжено со значительными осложнениями и повышенной опасностью, а также с остановкой работы в очистном забое. При повышенной вынимаемой мощности угольного пласта имеется опыт по доставке извлеченной крепи конвейерного штрека ленточным конвейером в ремонтную смену.

Несовершенство существующих конструкций металлических крепей. Имеющиеся недостатки в конструктивном решении крепей влияют на трудоемкость работ по их извлечению, вызывают необходимость разрезать элементы рам на части с оставлением большей их доли в завале. Применяется, например, болтовых замков с плоской планкой приво-

дит к повышенной податливости крепи, чрезмерному уменьшению сечения выработки и деформации крепи. Наличие недоката (прямолинейных участков) на концах криволинейных элементов вызывает плохое сопряжение их в нахлестке, сползание замков, разрыв спецпрофиля и пр.

Сложные горно-геологические условия поддержания выработок. Исследованиями установлено, что неустойчивые вмещающие породы (особенно залегающие в кровле угольного пласта), подрывка и наличие пучащих пород в почве выработки, оставление в кровле пласта ненадежной защитной пачки, большая обводненность вмещающих пород и повышенное горное давление в значительной мере снижают объем извлечения металлической крепи. В 40—45% протяженности погашаемых выемочных выработок непосредственно над пластом залегают пески, в 75—80% — почва представлена глинами, основная доля которых склонна к размоканию и вспучиванию, в 70—80% — штреки проведены с подрывкой почвы, которая в 10—15% общего объема достигает свыше 1 м. Не всегда представляется возможность оставлять предохранительную пачку угля в кровле проводимых (а затем погашаемых) выработок нужной величины. Весь период существования выработки (вплоть до погашения) в большинстве случаев сильно обводнены, несмотря на то, что на добычу каждой 1 т угля из шахт выдается до 15 м<sup>3</sup> воды.

Проведение штреков по породам. В связи с волнистой гипсометрией угольного пласта многие профилированные главные откаточные штреки на значительном протяжении проведены вне пределов угольного пласта (в почве или кровле) или же со значительной присечкой породы. При отработке охранных целиков использовать такие штреки в качестве одной из выемочных выработок очистного забоя в первом случае практически не представляется возможным, а во втором — сопряжено с большими трудовыми и материальными затратами, а также с большой опасностью работ. В таких случаях для работы очистного забоя по угольному пласту проводят новые выемочные штреки, а старые (главные откаточные) ликвидируют без извлечения крепи. При погашении прочих выработок, проведенных полностью по породам, извлечение металлической крепи так же, как и в штреках главных направлений и по тем же причинам практически не производится.

С учетом этих обстоятельств потеря металлической крепи в таких выработках может достигать 17—23% общей металлоемкости погашения главных откаточных штреков.

Большой срок службы выработок и коррозия металлической крепи. При длительной эксплуатации выработок (10 лет и более) в условиях слабых вмещающих пород с повышенным горным давлением и обводненностью ме-

таляческая крепь значительно деформируется и подвергается сильной коррозии. Многие ее элементы вследствие скручивания, разрыва, раскрытия спецпрофиля, повреждения ржавчиной не подлежат восстановлению и повторному использованию. Извлечение крепи в таких выработках очень трудоемко и экономически нецелесообразно. При необходимости извлечения по техническим соображениям вся извлеченная крепь идет в металлолом. Объем погашения таких выработок ежегодно увеличивается в связи с отработкой основных запасов и погашением многих шахт.

Несоответствие действующих паспортов проведения и крепления подземных выработок конкретным горно-геологическим условиям. Это наблюдается как по несущей способности, так и по плотности возведения крепи и приводит к значительной деформации ее элементов. Из-за применения более легкого спецпрофиля СВП7 и недостаточной плотности возведения рам, а также ряда организационных причин объем деформированной крепи в тяжелых условиях поддержания достигает 75—80% общего количества. К повторному использованию без восстановления оказываются пригодными не более 10—12% элементов крепи.

Технология и организация работ по извлечению крепи. При погашении, перекреплении и ремонте выработок с металлической крепью из спецпрофиля СВП извлечению для повторного использования подлежат все ее элементы. Работы выполняют в соответствии с требованиями Правил безопасности и Правил технической эксплуатации.

Технология и организация работ по извлечению металлической крепи зависит от горно-геологических и горнотехнических условий, формы сечения и конструкции крепи погашаемой выработки, типа крепи сопряжений лав с выемочными штреками, наличия средств механизации, предназначенных для извлечения.

Металлическую крепь из погашаемых выработок извлекают как правило, по мере подвигания очистного забоя. В связи со сравнительно небольшим подвиганием лавы за смену, специальных бригад по извлечению крепи не создают. Эти работы в каждой смене выполняют двое рабочих бригады по добыче угля.

Наибольшее распространение получили следующие технологические схемы извлечения металлических крепей из погашаемых выемочных штреков [7].

Конвейерный штрек перекрыт крепью сопряжения Т-6к, УМКС или секциями лавных механизированных крепей ОКП, 2МКЭ, МК-75.

Схема I (рис. 3.34). Конвейерный штрек закреплен трапециевидной крепью. Штрековая крепь усилена в зоне опорного

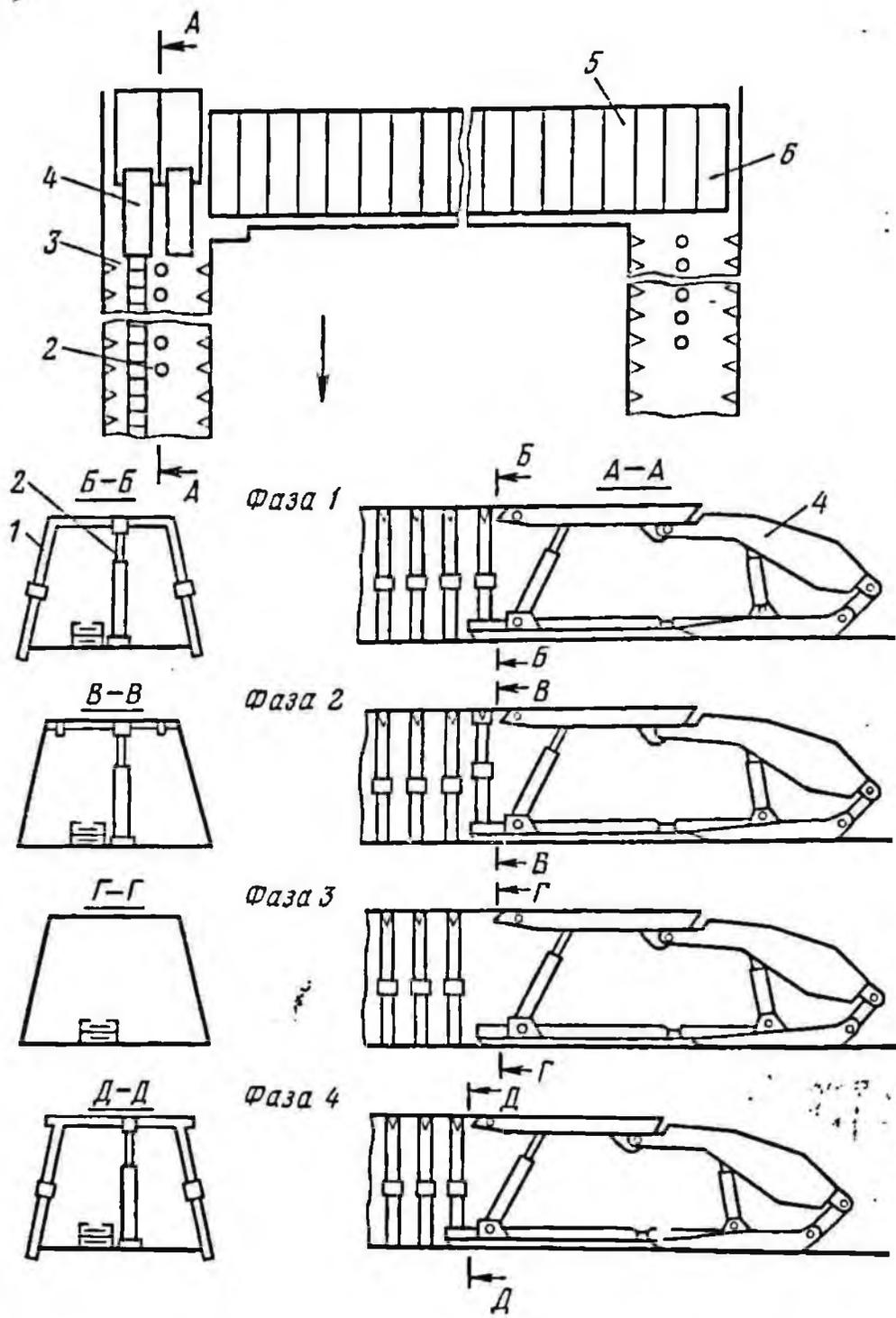


Рис. 3.34. Схема извлечения трапециевидной крепи:

1 — штрековая крепь; 2 — гидравлическая стойка; 3 — конвейер; 4 — крепь сопряжения; 5 — механизированный комплекс; 6 — линейная секция

давления на расстоянии 5—15 м гидравлическими стойками ГСК, устанавливаемыми под верхняк каждой рамы. Привод лавного конвейера подвинут к забою (фаза 1 — исходное положение).

Демонтируют узлы податливости (снимают замки соединений) и верхние элементы стоек крепи. Извлекают стойки (фаза 2). При значительном вдавливании их в почву извлечение ведется с помощью двух гидравлических домкратов, подвешенных к секции крепи сопряжения. Извлеченные элементы крепи складывают на свободном проходе штрека.

Стойку ГСК опускают вместе с верхняком (фаза 3). При этом необходимо, чтобы расстояние от козырька крепи сопряжения до следующей рамы не превышало 0,8 м, в противном случае перед извлечением устанавливают временную раму крепи (верхняк, поджатый к кровле двумя стойками ГСК) на расстоянии от козырька секций крепи сопряжения, равном шагу ее передвижки.

Секции крепи сопряжения передвигают поочередно (фаза 4), и цикл по извлечению одной рамы крепи заканчивается. Допускается разрыв между козырьком секции крепи сопряжения и штрековой крепью не более 200 мм без дополнительного крепления.

В перерыве между добычными сменами рабочие ремонтной смены транспортируют извлеченные элементы крепи до магистральной выработки и там грузят их в вагонетки.

**Схема II** (рис. 3.35). Конвейерный штрек закреплен арочной инвентарной крепью типа АИК. В зоне опорного давления лавы на расстоянии 5—15 м штрековая крепь усилена гидравлическими стойками ГСК, установленными под верхняк каждой рамы. Привод лавного конвейера подвинут к забою (фаза 1 — исходное положение).

С помощью отбойного молотка или обушка производят раскопку кровли выработки, и ее крепят затяжкой, поджатой к кровле прогонами, уложенными на козырьки секций крепи сопряжения (фаза 2). Стойку ГСК переставляют под полуарку. Демонтируют замки узлов податливости в верхнем соединении и в боковом со стороны лавы. Снимают одну полуарку, и извлекают стойку.

Демонтируют узлы податливости с противоположной стороны лавы (фаза 3). Вместе с гидростойкой опускают полуарку, извлекают стойку.

Секции крепи сопряжения передвигают поочередно (фаза 4), и цикл по извлечению рамы крепи заканчивается.

**Схема III** (рис. 3.36). Конвейерный штрек закреплен крепью КМК-П (КПК-ПЛ) с пологим лежнем.

В зоне опорного давления лавы на расстоянии 5—15 м штрековая крепь усилена гидравлическими стойками ГСК, при-

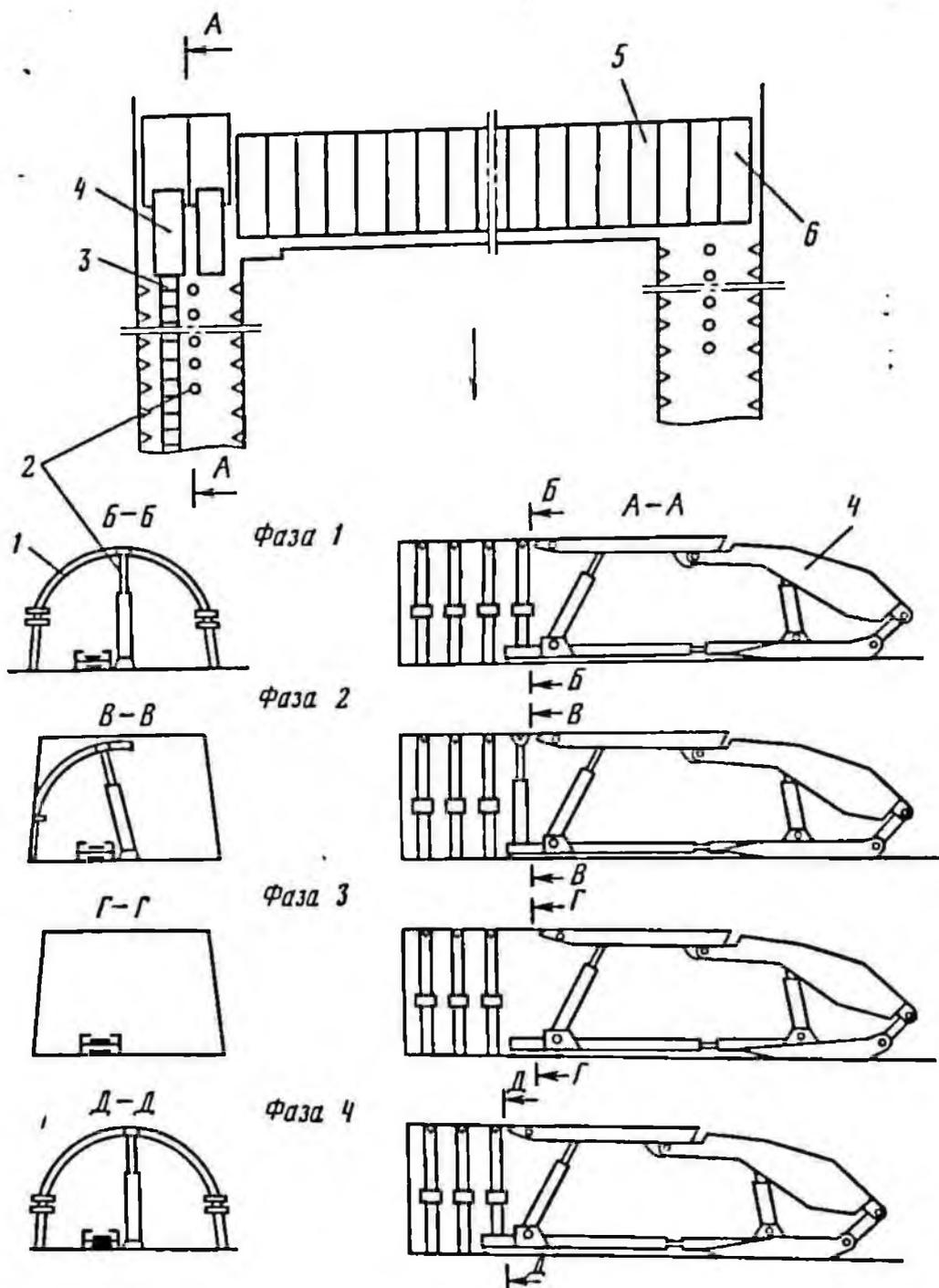


Рис. 3.35. Схема извлечения арочной крепи (позиции те же, что к рис. 3.34)

ПАК-150 для правки криволинейных элементов крепи, скоб и планок, станок для восстановления резьбы скрепляющих скоб.

#### Техническая характеристика МПГ

Усилия нажимного ролика, кН . . . . .	150
Скорость подачи сегмента в валках, м/мин . . . . .	9,8
Максимальный ход нажимного ролика, мм . . . . .	190
Мощность привода, кВт . . . . .	40
Габариты, м . . . . .	1,38×3,0×1,75
Масса, т . . . . .	8,4

Работу по восстановлению элементов крепи на МПГ производят трое рабочих. Деформированный элемент крепи снимают с платформы и укладывают на поддерживающие ролики. Прижимной ролик с помощью гидродомкрата устанавливают по мерной линейке в положение, соответствующее необходимому радиусу изгиба ремонтируемого элемента, который протягивается через ручьи роликов несколько раз до полного восстановления формы сечения профиля и радиуса изгиба.

На шахте «Дубовская» с помощью МПГ за смену восстанавливается до 23 рам.

#### Техническая характеристика ПАК-150

Рабочее усилие, кН . . . . .	1500
Ход поршня, мм . . . . .	200
Расстояние (максимальное) между столом и траверсой, мм . . . . .	475
Номинальная мощность привода, кВт . . . . .	8,0
Рабочее давление в маслосистеме, МПа . . . . .	19
Вместимость маслобака, л . . . . .	40
Габариты, м . . . . .	1,65 < 1,1×1,64
Масса, т . . . . .	3,7

Сегмент накладывают на нижнюю матрицу, которая входит внутрь спецпрофиля, и верхней корытообразной матрицей обжимают часть сегмента с трех сторон. Затем поршень пресса поднимают, элемент крепи передвигают и обжимают следующий участок. Для выправки нижнего и верхнего сегментов требуется четыре цикла обжимки, для боковых — три.

Производительность труда рабочих, занятых восстановлением крепи на шахте «Липковская» — 20 рам в смену.

Для выправления деформированных элементов крепи может быть использован горизонтальный гидравлический пресс. Он включает в себя съемные штампы с различным радиусом кривизны, которые имеют сопрягаемые поверхности как в сечении, так и в плоскости требуемого изгиба профиля. На раме пресса неподвижно крепится матрица, а пуансон шарнирно соединяется с тремя силовыми приводными гидродомкратами. Управление прессом осуществляют с помощью гидрораспределителей, смонтированных на раме.

### Техническая характеристика горизонтального пресса

Рабочее усилие, кН . . . . .	1000
Ход поршня, мм . . . . .	720
Рабочая скорость движения поршня, м/мин	0,35
Скорость возврата поршня, м/мин . . . . .	0,5
Маслонасос поршневого типа . . . . .	H403E
Давление, развиваемое насосом, МПа . . . . .	20
Габариты, м . . . . .	3,1×2,0×0,42
Масса, т . . . . .	1,2

На каждой шахте рекомендуется иметь несколько прессов для ремонта крепи, стационарно установленных в районе околотвального двора, и передвижные установки на крыльях шахтного поля, что позволит избежать излишних встречных перевозок извлеченной и восстановленной крепи.

Отремонтированные детали крепи должны соответствовать рабочим чертежам и общим техническим и специальным условиям на их изготовление.

**Объем повторного использования крепи.** Извлеченную металлическую крепь в связи со значительной деформацией и коррозией используют повторно только частично. Исследованиями установлено, что при погашении штреков главных направлений, закрепленных металлической крепью, повторно может быть использовано (с восстановлением и без восстановления) не более 50% извлеченной крепи, при погашении выемочных и прочих выработок — не более 80%. В легких условиях поддержания с учетом восстановления элементов можно достичь 100% повторного использования крепи.

При ремонте горных выработок крепь демонтируется в пределах 80—90% металлоемкости ремонтируемых штреков. Это повышает общий объем ее извлечения до 6—8%, однако уровень повторного использования из отремонтированных выработок в целом составляет до 2—3% общей металлоемкости погашенных и отремонтированных штреков, поэтому общий уровень повторного использования из погашенных выработок за счет этого фактора возрастает незначительно.

Потери крепи неизбежны в следующих погашаемых выработках: извлечение крепей из которых запрещено Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах; с большим (более 10—15 лет) сроком службы, где металлическая крепь сильно изъедена ржавчиной и не пригодна для использования, а извлечение ее небезопасно; где крепь оставляют для сохранения целиков у очагов пожара, в местах возможных прорывов воды, плавуна и песка; с очень тяжелыми горно-геологическими и горнотехническими условиями работы крепи (в сильно нарушенных, обводненных и слабоустойчивых породах и др.), где при ее извлечении безопасные условия работы не обеспечены.

Фактические уровни извлечения металлической крепи и повторного ее использования в целом по Подмосковному бассей-

ТАБЛИЦА 3.16

Показатели	1985 г.	1986 г.	1987 г.
Масса крепи в погашенных и отремонтированных выработках, т	11915	19722	22499,6
В том числе:			
в погашенных	13896	18783	21277,9
в отремонтированных	1049	939	1221,7
Масса извлеченной крепи из всех выработок, т	9032	13380	14989,4
В том числе:			
из погашенных	8035	12650	14059,8
из отремонтированных	997	730	929,6
Извлечение крепи, % из общей металлоемкости погашенных и отремонтированных выработок	60,4	67,8	66,6
Масса повторно использованной крепи, т	6271	9684	11510,2
В том числе:			
из погашенных	5498	9026	10825,0
из отремонтированных	773	658	685,2
Повторное использование крепи, % от массы металлической крепи в погашенных и отремонтированных выработках	42,0	49,1	51,1

ну приведены в табл. 3.16. Данные этой таблицы показывают, что происходит увеличение как извлечения, так и повторного использования крепи.

Достижение высоких объемов извлечения и повторного использования металлической крепи стало возможным прежде всего в результате хорошей организации работ, наличия относительно благоприятных условий поддержания выработок, оборудования специальных восстановительных пунктов в подземных условиях, применения на сопряжениях лав со штреками механизированных крепей сопряжения или линейных секций очистных механизированных крепей.

Пути повышения уровня извлечения и повторного использования крепи. В связи с отсутствием серийного производства эффективных средств механизации по поддержанию сопряжений выемочных выработок с лавами и процессом демонтажа рамной крепи, технология ее извлечения в подготовительных выработках в ближайшее время не изменится.

Горно-геологические условия обрабатываемых участков шахтных полей ухудшаются в связи с нарезкой выемочных столбов в приконтурных зонах и работой лав на погашении целиков; увеличением глубины разработки угольного пласта и обводненности вмещающих пород; наличием в кровле известняков мощностью до 30—40 м, а в почве пород, склонных к пу-

чению и пр. Это предопределяет стабильность или даже снижение удельных объемов извлечения металлической крепи и создает дополнительные трудности.

В то же время имеется возможность повысить удельный объем извлечения за счет:

увеличения доли лав, работающих с существующими механизированными крепями сопряжения, для чего следует широко распространять опыт применения крепей УМКС и линейных секций лавных механизированных крепей;

систематического проведения осушительных работ и достижения полной ликвидации напочвенной воды в выработках;

выбора конструкции крепи, профиля проката, из которого она изготовлена, а также плотности возведения рам в соответствии с конкретными горно-геологическими условиями поддержания выработок;

своевременного перекрепления на дерево или подготовки другими способами к переходу каждой сбойки с металлической крепью (до подхода к ней очистного забоя на расстояние не менее 40 м);

организации систематического контроля за состоянием горных выработок с металлической крепью, своевременного их ремонта и подтягивания гаек в замках узлов податливости;

составления на шахтах графиков погашения и ремонта выработок с металлической крепью и выполнения расчетов по достижению максимально возможного объема ее извлечения (графики и расчеты следует рассматривать и утверждать при приемке квартальных программ);

передачи металлической крепи выемочных штреков при приемке очистных участков в эксплуатацию начальникам участков под отчет, как всего оборудования для очистной выемки угля;

распространения передового опыта по извлечению и повторному использованию металлической крепи.

Значительные резервы в повышении уровня извлечения и повторного использования содержатся в улучшении организации труда, материальной заинтересованности рабочих и специалистов шахт, а также повышении ответственности шахтного надзора за необоснованную потерю металлической крепи, установленной в штреках.

### 3.6. Охрана и поддержание выработок

Охрана горных выработок — это комплекс мероприятий, выполняемых для повышения устойчивости породных обнажений и крепи горных выработок, позволяющих безопасно и с наименьшими затратами эксплуатировать их в течение всего срока службы. Охрана выработок существенно влияет на степень проявления горного давления в подготовительных выработках и

жается в 1,66 раза, сдвижение пород почвы и кровли — в 1,7 раза, при равных условиях не наблюдается пучение почвы, выдавливание стоек крепи во внутрь выработки, почти в 1,5 раза повышается среднесуточная добыча угля из лавы.

Качественная посадка пород кровли наилучшим образом достигается в результате применения на сопряжениях выработок с лавами механизированных крепей сопряжений или секций лавной механизированной крепи и полного извлечения крепи при погашении штреков.

Проведение присечных выработок вплотную к обрушенным породам без оставления целиков между штреком и выработанным пространством — одно из основных требований для обеспечения устойчивого их состояния. В отдельных случаях для предотвращения прорывов воды из выработанного пространства допускается оставление защитной стенки с шириной поверху до 2 м.

Правомерность такого требования показана исследованиями. В частности, на шахте «Комсомольская» [37] исследования проводились в 13-бис северо-восточном штреке с шириной целиков 10 и 3,2 м и на участке с «чистой» присечкой. Установлено, что при значительном расстоянии замерных станций от забоя лавы нагрузки на крепь были постоянными в пределах начального распора крепи и при целике 10 м составили 0,005 МПа, при целике 3,2 м — 0,0081 МПа, без целика — 0,0012 МПа. Интенсивный рост нагрузок начался при расстояниях до лавы соответственно 23, 30, 20 м, а максимальные нагрузки в непосредственной близости от лавы составили 0,0482, 0,07 и 0,059 МПа. Полученные данные хорошо аппроксимируются уравнением вида:

$$P = 5,9 + 0,695A - 0,0803A^2, \quad (3.30)$$

где  $P$  — нагрузка на крепь, МПа;  $A$  — ширина межстолбового целика, м.

В зоне влияния очистных работ устойчивость выработки на различных участках нарушалась неодинаково. Состояние ее в пределах целика шириной 10 м за весь период исследований оставалось удовлетворительным. Крепь не деформировалась, поперечное сечение штрека уменьшилось за счет вдавливания стоек в почву и смещения их нижней части во внутрь штрека, заметного пучения почвы не было. Общая конвергенция пород кровли-почвы составила 500 мм, высота штрека в свету на сопряжении с лавой — 1,6 м.

На участке с целиком 3,2 м наблюдалась значительная деформация крепи: верхняя часть рам сильно прогнулись, стойки со стороны лавы поломались, а с противоположной стороны вдавились во внутрь штрека, почва вспучилась. Высота штрека в

свету у лавы 0,6 м, ширина 1,5 м. Общая конвергенция — 1500 мм. В целом участок находился в аварийном состоянии.

Состояние штрека на участке без целика было таким же, как на первой замерной станции. Деформация крепи и вспучивание почвы не наблюдались. Конвергенция пород составляла 100 мм, высота штрека в свету на сопряжении с лавой — 1,4 м.

Анализ приведенных данных показывает, что в зоне влияния очистных работ наихудшее состояние штрека наблюдалось при междуштрековом целике 3,2 м. Штрековая крепь здесь интенсивно начала нагружаться раньше на 7—10 м и была в 1,55 раза больше, чем на участке с целиком 10 м и в 1,28 раза больше, чем в районе штрека, проведенном без целика, проявлялось пучение почвы. Эксплуатация участка с целиком 3,2 м была очень осложнена в результате значительной конвергенции пород и деформации крепи. Следовательно, при одинаковых горно-геологических условиях подобные целики создают не только повышенные нагрузки на крепь, но и предпосылки для интенсивного пучения пород почвы.

Исследованиями ТулПИ [31] установлено, что для шахты «Смирновская» величина смещения пород на контуре выработки на линии очистного забоя в зависимости от ширины межстолбового целика выражается эмпирическим уравнением вида:

$$U_{к.п} = 180 + 80A - 10A^2, \quad (3.31)$$

где  $U_{к.п}$  — смещение кровли-почвы на линии очистного забоя, мм;  $A$  — ширина целика, м.

По данным 64 штреков, поддерживаемых в тяжелых горно-геологических условиях, эта зависимость аппроксимирована степенным полиномом вида:

для смещений пород кровли-почвы

$$U_{к.п} = 181 + 131,8A + 14,25A^2 + 0,39A^3; \quad (3.32)$$

для смещения пород боков штрека

$$U_6 = 105,1 + 31A + 1,23A^2 - 0,2A^3, \quad (3.33)$$

где  $U_6$  — смещение пород боков штрека, мм.

Наблюдается неравномерность смещения пород со стороны целика и массива угля. Степень этой неравномерности характеризуется коэффициентом

$$K_n = U_{6.м} / U_{6.ц}, \quad (3.34)$$

где  $U_{6.м}$ ,  $U_{6.ц}$  — смещение со стороны массива угля и целика, мм.

Коэффициент неравномерности смещений зависит от ширины целика.

Автором работы [31] отмечено, что ширина межстолбового целика имеет существенное влияние на состояние выемочной выработки. Максимальные значения смещений наблюдаются при ширине целика 3—8 м. При ширине целика 10 м (наиболее часто применяемый размер) смещение пород в выработке гораздо больше, чем при охране ее целиками шириной до 2 м. Максимальное значение коэффициента неравномерности смещений по ширине штрека, равное 2—3, достигается при целиках 6—10 м.

Таким образом, выемочные выработки, охраняемые целиками угля шириной 3—10 м (большее значение относится к тяжелым горно-геологическим условиям), находятся в неблагоприятных условиях поддержания в связи с тем, что оказываются в зоне максимальных нагрузок от остаточного опорного давления и временного опорного давления собственной лавы.

Поэтому при проектировании горных работ выработки следует располагать на границе с обрушенными породами или за зоной остаточного опорного давления, предусматривая охранные целики значительной величины.

Присенные выработки располагаются в зоне остаточного горного давления. Перераспределение напряжений и смещение пород до их полного уплотнения в околоштрековом пространстве происходят длительное время. Поэтому преждевременно проведенные выработки испытывают повышенные нагрузки, в результате чего крепь деформируется и нарушает эксплуатационное их состояние.

В работе [31] приведена зависимость смещений пород кровли-почвы от длительности периода между отработкой лавы и проведением штрека, которая имеет вид функции

$$U_t = a \operatorname{cth}(bt + c), \quad (3.35)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — коэффициенты регрессии;  $t$  — время между отработкой лавы и проведением штрека, мес.

Для шахты «Смирновская» это выражение имеет вид

$$U_t = 150 \operatorname{cth}(0,2t + 0,5). \quad (3.36)$$

На основе обобщения многочисленных исследований рекомендуется при проектировании выработок период времени между отработкой лавы и началом проведения новой выработки принимать по данным табл. 3.17.

Охрана выработок целиками угля. Устойчивость выемочных выработок, расположенных вблизи выработанного пространства, во многом зависит от степени остаточного и временного опорного горного давления. Они, как известно, распространяются не только на обрушенные породы, но и на массив, в котором поддерживается выработка. В работах ВНИМИ [6, 25]

ТАБЛИЦА 3.17

Группа условий поддержания	Необходимый интервал времени (мес) при типах кровли		
	легкой	средней	тяжелой
I	1	2	4
II	4	6	6
III	6	10	12

отмечено, что в зависимости от горно-геологических условий максимум напряжений в пласте от остаточного опорного давления находится на расстоянии от 2—4 до 12—15 м от кромки угольного массива. Зона временного опорного давления распространяется в пределах 15—60 м.

Целики широко использовались для охраны выемочных выработок и различных горно-геологических условий бассейна. Ширина их принималась 8—20 м. Однако в последнее время охрана выемочных выработок целиками угля признана нецелесообразной вследствие больших потерь угля по площади, теряемых полностью или частично при ведении очистных работ, а также увеличения пожароопасности участков шахтных полей. Поэтому такой способ охраны допускается только при больших тектонических нарушениях угольных пластов, сильной водообильности вмещающих выработку пород, проведении выработок вблизи очага пожара или зон, опасных по самовозгоранию угля, а также вблизи затопленных горных выработок.

При этом необходимо иметь в виду, что при охране выработок целиками в первых двух случаях должны быть приняты меры к полному или частичному погашению планируемых целиков угля. Целики полностью теряются, если выработки проводятся вблизи пожароопасных участков и затопленных горных выработок.

Выработки, охраняемые целиками угля, по отношению к очистным работам рекомендуется проводить после отработки соседнего выемочного столба. В исключительных случаях допускается их проведение до начала очистных работ в соседнем выемочном столбе. Для обеспечения нормального эксплуатационного состояния выработок при втором варианте проведения необходимо запас сечения штрека по высоте увеличивать в 1,5 раза по сравнению с этим показателем, принятым для выработок, располагаемых в массиве [30]. Рациональные размеры целиков угля для охраны выемочных выработок принимают в зависимости от условия поддержания.

Для обеспечения длительной устойчивости капитальных подготовительных выработок (штреков главных направлений) в бассейне применяют способ их охраны также за счет использования естественных горно-геологических условий.

С учетом продолжительности срока службы этих выработок, их располагают за пределами зоны влияния отработанных столбов на расстояниях, исключающих вредное влияние друг на друга. Для охраны штреков главных направлений от вредного влияния очистных работ оставляют околоштрековые целики угля, ширина которых для различных горно-геологических условий принимается 40—80 м. Ширина же целика между штреками главных направлений всегда равна 50 м.

Охрана выработок, поддерживаемых на границе с выработанным пространством с целью их повторного использования. Применяется в легких и средних условиях поддержания выработок с существующими средствами крепления и охраны. Крепление осуществляют рамными крепями повышенной несущей способности из спецпрофиля СВП27. На 1 м выработки устанавливают две спаренные рамы.

В зонах опорного давления основную крепь выработки усиливают впереди лавы двумя и позади тремя прогонами с деревянными верхняками и лежнями и гидравлическими стойками типа ГСК. Сохраняемая выработка охраняется однопорядной органической крепью из деревянных стоек, которые устанавливают вслед за подвиганием лавы в промежутке между спаренными рамами основной штрековой крепи.

Таким образом, повторное использование выработок обеспечено за счет реализации следующих технических мероприятий; качественное крепление выработок металлическими крепями повышенной несущей способности, увеличение сечения выработки с учетом смещения пород, усиление основной штрековой крепи в зонах влияния очистных работ, охрану выработки за лавой однопорядной органической крепью.

Для охраны выработок, сохраняемых для повторного использования в тяжелых горно-геологических условиях, ПНИУИ разрабатывает специальные секционные крепи усиления.

При использовании других естественных условий для повышения устойчивости выработок стремятся к тому, чтобы их располагать в более прочных породах, в районах наименьшей обводненности и сниженных гидростатических напоров воды, вне зон предполагаемых геологических нарушений. Все это способствует эффективному применению крепи и снижению плотности ее установки.

Для повышения устойчивости выработок оставляют предохранительную пачку угля в кровле. Практикуется проведение штреков под пластом угля. Повсеместно распространена подрыжка пород в почве, что не нарушает целостности и устойчивости пород кровли штреков. При наличии в почве угольного пласта глини, склонных к пучению, мощностью до 0,8—1 м це-

лесообразно их вынимать, так как степень пучения резко увеличивается.

Применение крепи и средств ее усиления. Применение крепи — основное мероприятие для обеспечения устойчивости выработок. Крепь рациональна в том случае, если суммарные затраты на ее возведение и эксплуатацию (с учетом извлечения и ремонта) за период всего срока службы будут наименьшими по сравнению со всеми другими возможными вариантами.

Крепь должна применяться только в тех горно-геологических и производственных условиях, которые соответствуют ее технической характеристике и области использования.

При креплении выработок, как правило, используют податливые крепи. Однако в штреках главных направлений применяют также жесткие и ограниченно-податливые конструкции. В легких условиях поддержания при наличии слабых пород возможно крепление выемочных выработок жесткими конструкциями. Такой опыт имеется, например, на шахте «Подмосковная». В большинстве же случаев жесткая крепь с относительно малой податливостью не в состоянии обеспечить нормальные условия эксплуатации выемочной выработки и деформируется по истечении короткого промежутка времени.

Сопrotивление податливой крепи должно быть достаточно высоким, чтобы создать необходимый подпор для удержания пород в зоне разрушения. При применении крепей с недостаточным сопротивлением эта зона может получить неограниченное развитие и горное давление разрушит крепь, вывести выработку из рабочего состояния.

Было бы неправильным рекомендовать податливые крепи для всех условий применения и не следует преувеличивать их преимущества. Действительно, в случаях использования этого типа крепи с небольшим сопротивлением образуется излишняя податливость, большие смещения пород контура выработки и она приходит в нерабочее состояние. Элементы в таком случае настолько легко сдвигаются, что крепь в целом не может предотвратить обрушение опускающейся кровли.

С другой стороны, если принять в конструктивном отношении податливую крепь с излишне высоким сопротивлением, то она будет работать как жесткая со всеми вытекающими из этого последствиями. Следовательно, при выборе типа и параметров крепи необходима детальная оценка горно-геологических и горнотехнических условий и на ее основе, с учетом экономических факторов, принимать конкретное решение. Основные рекомендации по выбору крепей изложены в разделе 3.4.

Работы по поддержанию выработок проводятся в течение всего срока ее существования — от проведения до погашения. Различают поддержание выработок вне зоны влияния очистных

работ, в зоне опережающего временного опорного горного давления, на сопряжении штрека с лавой.

Выработки главных направлений, охраняемые целниками и не подверженные влиянию очистных работ, поддерживаются постоянной крепью, возводимой при их проведении. В зависимости от объемов и сложности, возникающих при эксплуатации нарушений устойчивости таких выработок, в них проводится ремонт.

Выемочные выработки вне зоны влияния очистных работ также поддерживаются, как и штреки главных направлений.

В зоне влияния очистных работ временное опорное давление характеризуется повышенными (в отдельных случаях до трех раз) нагрузками на крепь и большими (до нескольких десятков сантиметров) смещениями породного контура выработки.

Это требует детального анализа и оценки горно-геологических и горнотехнических условий для правильного выбора типа и несущей способности основной штрековой крепи. При применении металлической крепи повышенной несущей способности в легких и частично в средних условиях поддержания устойчивости выработки обеспечивается без дополнительного усиления. В остальных случаях в силу сложной геомеханической обстановки основную штрековую крепь усиливают. В качестве средств усиления используют прогоны, состоящие из деревянных верхняков и лежней, между которыми устанавливают индивидуальные гидравлические стойки с внутренним питанием типа ГСК, ГСУ. Прогоны устанавливают вдоль выработки на величину зоны временного опорного давления. Количество их определяется условиями поддержания. Применение гидравлических стоек ГСК вместо деревянных в два раза снижает трудоемкость работ по поддержанию выемочных штреков в зоне опорного давления.

Кроме того, используют дополнительные устройства, входящие в комплектацию рам крепи. Это откосные элементы в крепях МИК-4с, ТИК, МИК-5 и др., поперечные составные и продольные лежни, укладываемые под боковые опоры в крепях АИК, АШП, ТПК, ТИК и др. Перечисленные устройства можно использовать при необходимости и не в зонах опорного давления.

При поддержании выемочных выработок за лавой с целью их повторного использования в тяжелых условиях поддержания предусматривают применение специальных секционных крепей, несущая способность которых составляет до  $500 \text{ кН/м}^2$ . Устанавливают их в зоне опорного давления в дополнение к основной штрековой крепи, и они воспринимают основную долю возникающего горного давления. Секции крепи усиления перемещаются вслед за подвиганием очистного забоя «ручейком».

Изменение напряженного состояния массива вокруг выработки и технологические мероприятия. Правильный выбор формы

поперечного сечения при проведении выработки в прочных породах может оказаться достаточным для обеспечения ее устойчивости.

В условиях слабых неустойчивых пород, присущих Подмосковному бассейну, достичь этого невозможно. Однако форма поперечного сечения выработки оказывает существенное влияние на ее устойчивость, так как от кривизны ее стенок зависит напряженное состояние пород на контуре. Придание выработке формы, соответственной горно-геологическим условиям, облегчает работу крепи.

Снижение напряженного состояния массива достигается путем выпуска части пород контура выработки через межрамные промежутки крепи. В местах расположения пропластков глин, склонных к пластическому течению, бока выработки не затягиваются и образуются разгрузочные окна. Породы выдавливаются во внутрь выработки, и давление на крепь уменьшается.

Последовательность и качество работ горнопроходческого цикла существенно влияют на устойчивость выработок, так, например, период со времени обнажения горных пород и до установки постоянной крепи способствует интенсивному смещению пород контура и увеличению зоны обрушения. Следовательно, необходимо стремиться к минимальному интервалу времени между обнажением контура и возведением крепи. Временную крепь при возведении бетонной и железобетонной крепей при слабых неустойчивых породах не извлекают.

В практике часто наблюдается несоответствие контура выработки и крепи. Зазоры между ними достигают 25—30 см. Пустоты за крепью увеличивают зону разрушения, создают неравномерные нагрузки на крепь, способствуют вывалам породы. Несущая способность крепи в таких условиях снижается.

Важную роль при исключении пустот за крепью играет качественная их забутовка. Она перераспределяет напряжения на контуре выработки и делает их более равномерными, уменьшает смещения пород. Некачественная забутовка увеличивает концентрацию усилий на элементы крепи, в результате чего она испытывает повышенные изгибающие моменты и деформируется.

При проведении выработок навстречу лаве, работающей в смежном выемочном столбе, она попадает в зону временного опорного горного давления этой лавы; условия поддержания при этом без принятия специальных мер охраны существенно усложняются. Практически во всех случаях такие выработки перекрепляют. Поэтому при планировании горных работ не следует предусматривать проведение выработок навстречу движущемуся очистному забою.

Проведение штреков с запасом поперечного сечения на величину смещения пород контура выработки в сочетании с дру-

гими мерами охраны позволит обеспечить надежное ее поддержание.

Исследованиями подтверждается, что увеличение первоначальных затрат на проведение штреков повышенного сечения экономически оправдывается в результате значительного снижения расходов на их поддержание.

При проведении выработки необходимо стремиться к тому, чтобы не допускать образования куполов в кровле, в случаях же их появления следует принимать неотложные меры к их качественной забутовке.

На шахтах Подмосковского бассейна проведены испытания способа борьбы с пучением глинистых пород путем их уплотнения взрыванием камуфлетных зарядов. В результате прочность таких пород повышается и позволяет снизить интенсивность ее пучения.

Широко используется упрочнение пород способом замораживания и химическими составами.

Ремонт горных выработок — часть процесса поддержания их в работоспособном состоянии при эксплуатации. Под термином «ремонт горных выработок» понимают совокупность работ по исправлению повреждений выработок, расширению их поперечного сечения до размеров, соответствующих паспорту проведения и крепления подземных выработок, а также по исправлению поломок крепи, откаточных путей, дренажных канав.

В зависимости от характера и объема в бассейне осуществляют следующие виды ремонтных работ [24]:

осмотровый ремонт, при котором производят затягивание ослабленных болтовых и клиновых замков в податливых узлах крепей, межрамных стяжек, восстанавливают выпавшие межрамные распорки, клинья;

текущий (частичный), когда устраняют мелкие неисправности крепи (замена отдельных поломанных рам или их элементов), производят частичное перекрепление небольших участков выработок, исправление рельсового пути, очистку выработки от грязи, подсыпку балласта, побелку крепи, очистку водоотводных канавок на участках небольшой длины;

средний ремонт, при котором производят на отдельных участках замену крепи с расширением поперечного сечения до размеров, предусмотренных паспортом, усиление рамной крепи стойками, подкосами, распорками и т. п.;

капитальный ремонт (перекрепление), при котором производят сплошную замену крепи с расширением площади поперечного сечения выработки до размеров, соответствующих паспорту, подсыпку почвы с перестилкой рельсовых путей, восстановлением или устройством новой водоотводной канавы;

восстановление выработок — ликвидацию завалов с уборкой породы.

Для облегчения контроля за работой по ремонту выработки ее разбивают на участки (пикеты) по 25 или 50 м. На ремонтируемом участке все рамы в пикете нумеруют. Выполненные работы при капитальном ремонте принимают по замеру в конце месяца, а при текущем — по сменным рапортам горных мастеров.

Частичный ремонт выработок, закрепленных металлической крепью, когда имеется прогиб, скручивание, смятие и излом верхняков или стоек, деформация замковых соединений в податливых узлах, поломка затяжек, производится следующим образом.

Для замены верхняка стойки ремонтируемой рамы подпирают специальными упорами — вилками. В неустойчивых породах верхняк заменяют под защитой временной крепи. При замене обеих стоек под верхняк устанавливают две временные стойки (типов ВК, ГСК, ГСУ), а затем деформированные стойки заменяют новыми. При замене одной стойки в раме под верхняк устанавливают одну временную стойку. Когда установка временных стоек мешает движению транспорта, вместо нее применяют отрезок спецпрофиля СВП и скобы, с помощью которых он крепится к верхнякам соседних рам.

Для замены лежня в полной крепежной раме под ее верхняк устанавливают два коротких продольных прогона, опирающихся на временные стойки, затем временно удаляют стойки рамы, извлекают лежень, а вместо него укладывают новый. После этого устанавливают на место постоянные стойки, убирают короткие прогоны и расклинивают раму.

Замену затяжек производят следующим образом. Негодные затяжки удаляют по одной, чтобы не допустить вывала породы, пространство между породой и крепью расчищают, и заводят новые затяжки, забучивая закрепные пустоты. Если заменяют затяжки по всему периметру выработки, то начинают от почвы, стараясь меньше выпускать породу, которую после частично используют для забутовки, а излишек грузят в вагонетки.

При замене отдельных элементов сборной железобетонной крепи соседние с разрушенными элементами раскрепляют стойками, прогонами, подкосами и т. д., после чего производят замену разрушенных или деформированных элементов крепи.

При капитальном ремонте производят сплошную замену крепи без расширения поперечного сечения выработки или с расширением.

При перекреплении выработки без ее расширения при наличии неустойчивых пород перед удалением старой крепи забивают со стороны кровли, а иногда и боков забивную крепь.

При расширении выработок до размеров, предусмотренных паспортом, сначала удаляют старую крепь, производят присеч-

ку породы, погрузку ее в вагонетки, а затем возводят новую крепь.

При незначительном пучении почвы ее поддирку производят частями без разборки рельсового пути. При большом пучении почвы и нарушении рельсового пути последний полностью разбирают и после поддирки укладывают вновь с заменой (в случае необходимости), шпал и рельсов.

Восстановление выработки осуществляют при помощи забивной крепи аналогично случаям проведения горизонтальных выработок по неустойчивым породам. Порода, находящуюся ниже забивной крепи, грузят в вагонетки и выдают на поверхность. В сводах обрушения при восстановлении выработок выкладывают костры, крепят распорной многоярусной крепью или укладывают накатник и заполняют свод породой.

Для снижения затрат на поддержание выработок, проведенных в неустойчивых породах, при ремонте целесообразно применять специальные способы их упрочнения.

### 3.7. Повышение эффективности крепления и поддержания выработок

Несмотря на высокую эффективность металлических рамных крепей, они обладают рядом недостатков, которые снижают их эксплуатационные качества.

Существующие конструкции крепей имеют неопределенную схему перемещения элементов относительно друг друга. Узлы податливости в них по контуру крепи размещены без учета направлений главных смещений пород, возникающих в окрестности выработки.

Межрамные связи имеют недостаточную жесткость и несовершенную конструкцию. Лучшие образцы существующих замковых соединений позволяют использовать несущую способность спецпрофиля СВП до 75% ее величины. Однако при эксплуатации замков возникает необходимость постоянного контроля за их работоспособностью, что ведет к лишним затратам труда. Из-за нечеткой организации этой работы не соблюдается оптимальная рабочая характеристика крепи и часто нарушается устойчивое состояние выработок, требующее восстановительных работ. Все это способствует увеличению степени неравномерности нагружения крепи по длине выработки. Рамы работают разобщенно, даже рядом стоящие, они воспринимают резко отличающиеся друг от друга нагрузки. Неравномерности нагружения приводят к пространственному нагружению крепи со значительными по величине косонаправленными усилиями.

К недостаткам конструкции крепей следует также отнести отсутствие средств контроля и регулирования усилий прижатия спецпрофилей в узлах податливости.

В связи с этим необходимо проведение работ по созданию крепей нового технического уровня, в том числе пространственной конструкции, направленной податливости с известной кинематической схемой перемещения элементов, которые должны обеспечить безремонтное поддержание выработок в тяжелых и особо тяжелых условиях поддержания. Для этого предстоит провести комплексные исследования по взаимодействию крепей с вмещающими породами и определить их оптимальные параметры на новых месторождениях бассейна. Необходимо также продолжить совершенствование замковых соединений в направлениях повышения надежности их работы и достижения повышенных усилий сопротивления в узлах податливости, а также создания устройств, обеспечивающих регулирование и контроль усилий, возникающих при работе крепи.

При создании новых и совершенствовании существующих крепей нельзя забывать о их унификации. В настоящее время на шахтах Подмосквовного бассейна в одних и тех же условиях применяют крепи различных конструкций и модификаций, что осложняет вопрос оснащения предприятий по их изготовлению необходимыми техническими средствами, а также не позволяет в совершенстве освоить технологию изготовления.

Крепь, изготовленная из открытого специального взаимозаменяемого профиля СВП, имеет недостаточное сопротивление элементов кручению. Повышение устойчивости профиля кручению за счет приварки специальных замыкающих пластин не дает положительного результата и ведет к неоправданному расходу металла и трудовых затрат. В то же время металлургическая промышленность выпускает замкнутые профили. Среди них есть коробчатый (квадратный, прямоугольный) профиль из низколегированной стали 09Г2С.

ПНИУИ совместно с МГИ проведены испытания опытной партии трапецевидной (прямоугольной) крепи из квадратного профиля сечением  $120 \times 120$  мм и  $140 \times 140$  мм на шахте «Дубовская». Получены положительные результаты.

В табл. 3.18 приведены сравнительные характеристики коробчатого и специального взаимозаменяемого профилей.

Из приведенных в табл. 3.18 данных видно, что спецпрофиль СВП27 по сравнению с коробчатым профилем  $140 \times 140$  обладает большей массой, а коэффициент использования материала (отношение момента сопротивления к массе) равен соответственно 4,1 и 4,9. Тот же результат дает сравнение параметров спецпрофиля СВП22 и коробчатого профиля  $120 \times 120$ . В этом случае практически при равной массе коэффициент использования у коробчатого профиля  $120 \times 120$  значительно выше, что свидетельствует об уменьшении расхода металла при изготовлении из него крепей.

ТАБЛИЦА 3.18

Типоразмер профиля	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Масса 1 м, кг	По оси X—X		По оси Y—Y		Коэффициент использования материала
			момент инерции, см <sup>4</sup>	момент сопротивления, см <sup>3</sup>	момент инерции, см <sup>4</sup>	момент сопротивления, см <sup>3</sup>	
СВП17	21,73	17,1	243,4	53,4	382,3	57,9	3,12
СВП22	27,91	21,9	428,6	81,5	566,3	77,8	3,72
СВП27	34,37	27,0	646,1	110,5	731,3	97,8	4,1
СВП33	42,53	33,41	959,5	138,5	1226,0	148	4,12
120×120	27,7	21,7	545,0	90,8	545,0	90,08	4,18
140×140	32,4	25,5	890,0	127,0	890,0	127,0	4,9
160×160	37,2	29,2	1365,0	171,0	1365,0	171,0	5,86

1 м проката коробчатого профиля 160×160 на 4,2 кг легче 1 м спецпрофиля СВП33, однако момент инерции у него выше в 1,11 раза, момент сопротивления — в 1,19—1,5 раза, коэффициент использования металла — в 1,4 раза. Следовательно, его характеристики несравнимо лучше и выгоднее, чем у спецпрофиля СВП33. Изготовление крепей из квадратного профиля 160×160 позволит увеличить их несущую способность и одновременно значительно снизить металлоемкость.

Следовательно, для изготовления крепей повышенной несущей способности с прямолинейным верхняком рекомендуются три сечения профиля: 120×120; 140×140; 160×160. Не исключена возможность применения прямоугольного замкнутого профиля.

Опыт эксплуатации металлических крепей показывает, что трудоемкость их возведения намного выше, чем деревянных, что отрицательно сказывается на скоростях проведения выработок. Поэтому необходимо создавать крепи, которые бы до минимума сокращали трудоемкость их возведения в шахте. К таким крепям могут быть отнесены складывающиеся конструкции, сборные конструкции, собираемые из однотипных элементов, и пр.

Одна из причин несоответствия крепей и параметров крепления условиям поддержания выработок — некачественная разработка паспорта выемочного участка, проведения и крепления подземных выработок при проектировании. Само проектирование трудоемко и часто выполняется стереотипно. Поэтому имеются случаи, когда для одних и тех же условий поддержания предусматривают различные крепи как по форме поперечного сечения, так и по несущей способности их.

Качество проектирования повышается в результате разработки системы автоматизированного проектирования (САПР) этих паспортов. На шахтах Подмосквовного бассейна такая система

внедряется с 1987 г. Разработана она ТулПИ и ПНИУИ и предусматривает сбор исходных данных и подготовку их для ЭВМ, определение расчетных (прогнозных) смещений контура выработки и нагрузок на крепь, выбор по данным смещений и нагрузок типа крепи и ее конструктивной податливости, определение шага установки рам и затрат на крепление и поддержание штрека. Можно производить многовариантные расчеты и оптимизировать паспорт крепления. Результаты расчетов выдаются в числовом и графическом видах.

В целях увеличения уровня извлечения и повторного использования металлической крепи следует широко развернуть работы по изысканию и разработке средств механизации для их извлечения из погашаемых выработок и наладить серийное производство таких средств, разработать и внедрить новую систему оплаты труда, а также положение о премировании рабочих и технадзора за выполнение установленных нормативов по извлечению и повторному использованию. Продолжать работы по организации пунктов восстановления извлеченной металлической крепи.

Известно, что при получении нужных форм крепи холодным деформированием профиля в худшую сторону изменяются физико-механические свойства металла, что снижает ее качество. Этот недостаток резко уменьшается при изготовлении крепи в горячем состоянии. Поэтому целесообразно в будущем перейти на производство крепи, имеющей криволинейные элементы, с предварительным нагревом. Такое производство может быть организовано на металлургических заводах непосредственно при прокате спецпрофиля.

Один из наиболее серьезных недостатков в металлических крепях — наличие недоката на концах криволинейных элементов рам. Недокат (прямолинейные участки) образуются в результате применения для изготовления крепей несовершенной технологии, что приводит к резкому ухудшению ее качества, так как в местах соединения элементов образуются зевы, которые способствуют деформации профиля и снижению несущей способности крепи. Кроме того, существующая технология допускает до 12% и более отходов прокатного спецпрофиля СВП.

ПНИУИ совместно с производственным объединением бассейна разработана новая технология изготовления металлических крепей (рис. 3.37). В отличие от существующих технологий процесс изготовления крепи заключается в том, что подаваемые с эстакады прутки спецпрофиля СВП сначала сваривают в непрерывную нить, затем подают в прокатную машину на гибку, после чего разрезают на отдельные элементы готовой продукции.

Проведен комплекс лабораторных и производственных исследований возможности применения сварного профиля для шахт-

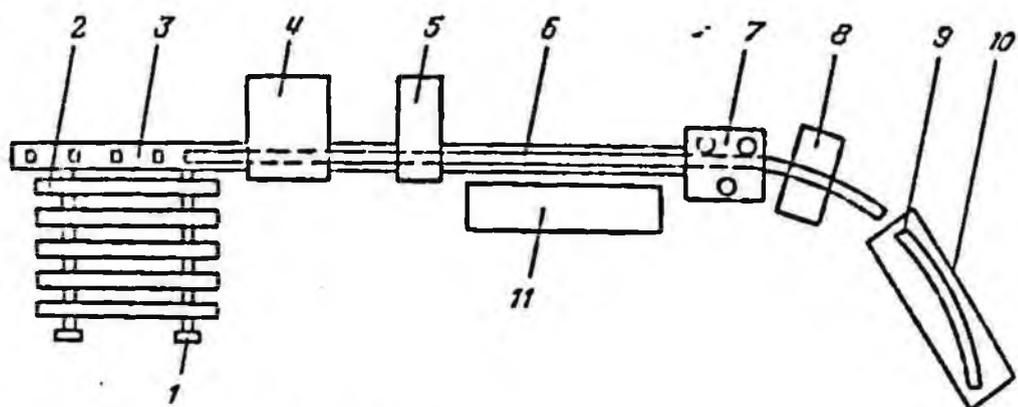


Рис. 3.37. Схема безотходной технологической линии изготовления крепей: 1 — стеллаж; 2 — пруток спецпрофиля; 3 — рольганг; 4 — сварочная машина; 5 — пресс для рубки прямолинейных элементов крепей; 6 — сваренные прутки спецпрофиля; 7 — гибочная машина; 8 — машина для резки элементов; 9 — готовый элемент крепей; 10, 11 — пакетирующая машина соответственно для криволинейных и прямолинейных элементов

ной крепи, доказана надежность, техническая и экономическая целесообразность перехода на новую технологию.

Такая технологическая линия работает в Кимовских ЦЭММ. Она позволяет резко улучшить качество криволинейных элементов рам, полностью ликвидировать отходы спецпрофиля СВП, повысить производительность труда рабочих в 1,5—2 раза.

В Подмосковном бассейне имеется опыт сохранения выработок за лавой на границе с обрушенными породами с целью их повторного использования.

Однако анализ проведенных ранее исследований показал, что несмотря на очевидные преимущества технологии выемки угля с повторным использованием штреков, она еще не нашла широкого распространения в бассейне из-за недостаточной изученности взаимодействия боковых пород с крепями выемочных штреков, располагаемых на границе с выработанным пространством, отсутствия надежных и эффективных крепей многократного использования, обеспечивающих безремонтное поддержание в течение всего срока службы, а также средств и способов охраны сохраняемых выработок.

Работы по решению этой задачи ведутся в ПНИУИ. Созданы и испытаны в лабораторных и шахтных условиях две конструкции металлических крепей: арочно-трапециевидная (КАТ) и трапециевидная (ТИК). Они изготовлены из спецпрофиля СВП27 и обладают высокой несущей способностью при работе в податливом режиме благодаря применению клиновых или болтовых с фигурной планкой замков, имеют вертикальную до 700 мм и горизонтальную до 300 мм конструктивную податливость, комплектуются выложенным составным лежнем, который можно возводить на участках выработок со слабой или склонной к пучению почвой в любое время их проведения или эксплуатации.

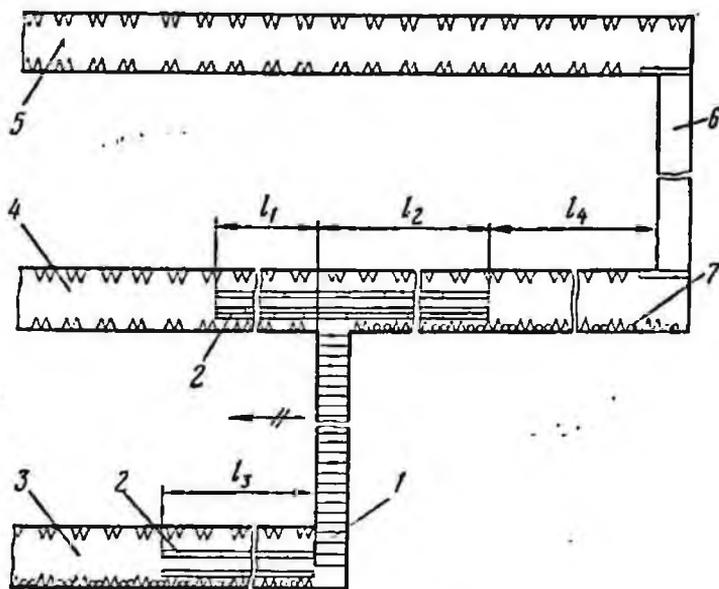


Рис. 3.38. Схема подготовки и отработки столбов с повторным использованием выемочных выработок:

1 — механизированный комплекс; 2 — крепь усиления; 3 — повторно используемая выработка; 4 — сохраняемая выработка; 5 — подготовленная к повторному использованию выработка; 6 — монтажная камера; 7 — органичный ряд крепи;  $l_1, l_2, l_4$  — зоны проявления горного давления в сохраняемой выработке, соответственно впереди лавы, позади лавы, в зоне стабилизации;  $l_3$  — длина зоны опережающего опорного горного давления впереди лавы на повторно используемой выработке

В ходе испытаний крепи показали хорошую работоспособность при всех режимах нагружения, соответствующих режимам работы в сохраняемых для повторного использования выработках.

Проведена успешная опытно-промышленная эксплуатация индивидуальных гидравлических стоек типа ГСК в зоне опорного горного давления лав, работающих по бесцеликовой технологии выемки угля. В результате доказаны их надежность и возможность применения для усиления основной штрековой крепи в выработках, предназначенных для повторного использования.

Результаты испытаний и анализ ранее выполненных работ позволили разработать различные схемы подготовки и отработки всего шахтного поля или его части, а также конкретные варианты технологии повторного использования выработок для шахт Подмосковского бассейна (с легкими и средними условиями разработки угольных пластов).

Для первого этапа внедрения новой технологии предложена схема [38], предусматривающая последовательную отработку выемочных столбов, причем до начала отработки каждой лавы должны быть полностью закончены горные работы по нарезке соседнего выемочного столба (рис. 3.38).

Такая схема обеспечивает постоянное проветривание сохраняемой выработки, а следовательно, и нормальные условия для производства работ по усилению основной штрековой крепи и

ее охране позади лавы; способствует повышению качества фронта очистных работ за счет увеличения сроков осушения подготовленных к отработке столбов и возможности проводить дополнительную разведку по выявлению геологических нарушений; позволяет производить одновременную выемку угля в двух или более смежных столбах, более эффективно бороться с внезапными прорывами воды и песка в районе сопряжения сохраняемого штрека с работающей лавой.

Из общей совокупности технологических схем сохранения штреков предпочтение отдано двум вариантам.

При первом варианте (рис. 3.39) повторно используются только вентиляционные штреки. Проводятся они повышенного сечения. Натяжная головка конвейера располагается в лаве. Это дает возможность при передвижке конвейера не снимать стойки основной штрековой крепи со стороны лавы. Для обеспечения прохода из штрека в лаву выработки крепят КАТ или ТИК спаренными рамами с плотностью установки 2 рамы на 1 м. Кровлю и бока затягивают досками толщиной не менее 60 мм.

Учитывая рекомендации, изложенные в работе [27], усиление штрековой крепи предусмотрено производить только в зонах активного проявления горного давления впереди и позади очистного забоя.

Усиливающая крепь состоит из трех рядов гидравлических стоек типа ГСК, установленных под деревянные прогоны и на продольные деревянные лежни. В каждом ряду на 1 м выработки возводят одну стойку. Все три ряда устанавливаются одновременно впереди лавы на границе зоны опережающего горного давления и снимают в зоне стабилизации смещения пород в выработанном пространстве. После снятия крепь усиления переносится в район сопряжения и вновь возводится в рабочее положение впереди лавы.

Охрану выработки осуществляют однорядной деревянной органической крепью, возводимой в промежутках между спаренными рамами штрековой крепи в створе ее стоек.

Этот вариант технологии повышает устойчивость сохраняемой выработки, так как на сопряжении с лавой обеспечивается постоянный контакт крепи с вмещающими породами и отсутствуют циклические воздействия ее на кровлю. Кроме того, исключаются трудоемкие работы по снятию и установке боковых элементов штрековой крепи. В то же время при одном очистном комбайне в лаве увеличивается длина ниш и возникает необходимость периодически производить переключение шлангов, идущих от насосной станции в очистной забой.

На шахте «Васильевская» был использован первый вариант технологии. Горно-геологические условия в пределах опытного участка по существующей в бассейне классификации относятся к средним. Лава была оборудована комплексом 1МКМ с комбай-

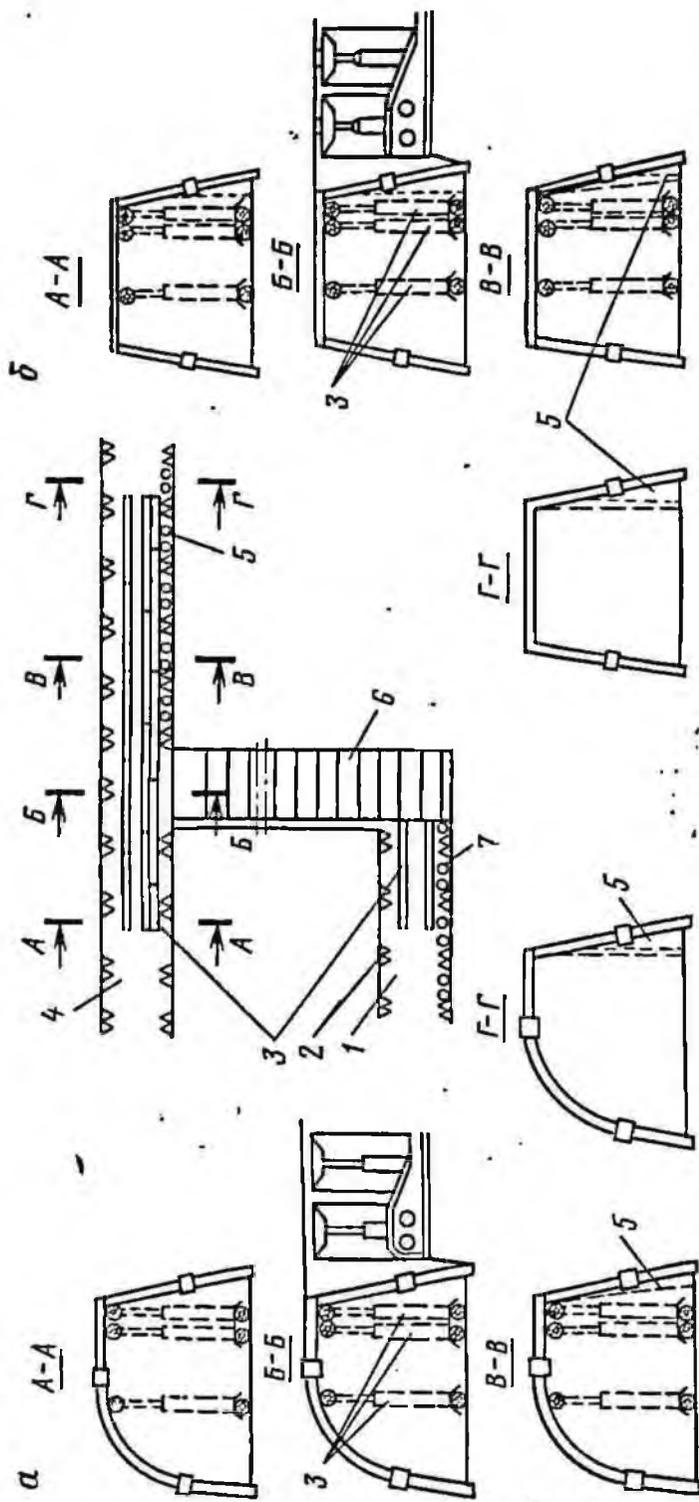


Рис. 3.39. Схема крепления, охраны и поддержания выемочных выработок с расположением головки забойного конвейера в лаге;

а — с арочно-трапециевидной крепью; б — с трапециевидной крепью; 1 — повторно используемая выработка; 2 — штрековая крепь; 3 — крепь усиления; 4 — сохраняемая выработка; 5, 7 — органичный ряд крепей; 6 — механизированный комплекс

ном КШКГ. Длина лавы 100 м, длина столба 584 м. Предназначенный для повторного использования штрек № 53 проведен с подрывкой пород почвы до 1,4 м и закреплен крепями КАТ и ТИК.

Работы по сохранению штрека выполняли силами очистного участка. Эти операции, а также дополнительный объем работ по выемке пиши не оказывали отрицательного влияния на нагрузку лавы. Среднесуточная добыча по столбу составила 730 т, максимальная 1237 т. Производительность труда горнорабочего 37,9 т в смену. Хозрасчетный экономический эффект составил 22,4 тыс. руб. Это свидетельствует о возможности повторного использования выработок в условиях высокопроизводительной работы очистного забоя.

При втором варианте технологии повторно используют как вентиляционные, так и конвейерные штреки (рис. 3.40). Выработки проводят повышенного сечения и крепят одной из крепей (КАТ или ТИК). Рамы устанавливают спаренно или в одиночку с плотностью 2 рамы на 1 м выработки.

Сбрасывающая и натяжная головки забойного конвейера расположены на штреках. Перед передвижкой конвейера стойки штрековой крепи со стороны лавы снимают, а после его передвижки восстанавливают. Одновременно с возведением стоек в их створе возводят однорядную деревянную органную крепь. Верхняя часть штрековой крепи при снятых стойках поддерживают специальной механизированной крепью охраны сопряжений (КОС) конструкции ПНУИ [20] или крепью сопряжений ОКС-1 конструкции ПечорНИИпроекта.

Металлическую штрековую крепь так же, как и в первом варианте, усиливают гидравлическими стойками типа ГСК: впереди лавы двумя, а позади — тремя рядами стоек с использованием деревянных прогонов и продольных лежней. В зоне стабилизации горного давления крепь усиления полностью снимают и переносят к лаве на новое место установки.

Достоинство второго варианта технологии — он позволяет двукратно использовать не только вентиляционные, но и конвейерные штреки. Однако для его применения необходимы крепи сопряжения с проходом в сохраняемую выработку, что несколько ухудшает состояние кровли на сопряжении с лавой.

Второй вариант технологии применялся на шахте «Сокольниковская». Лавы № 64, 66 были отработаны на сохраненный штрек № 64, который при работе первой лавы № 64 служил конвейерным, а лавы № 66 — вентиляционным.

Горно-геологические условия отработки на опытном участке были средние. Длина столбов 250 м. Лава № 64 длиной 112 м была оборудована комплексом 2МКЭ с комбайном КШКГ. На сопряжении лавы с сохраняемым штреком были смонтированы механизированная крепь сопряжения КОС, скребковый перегру-

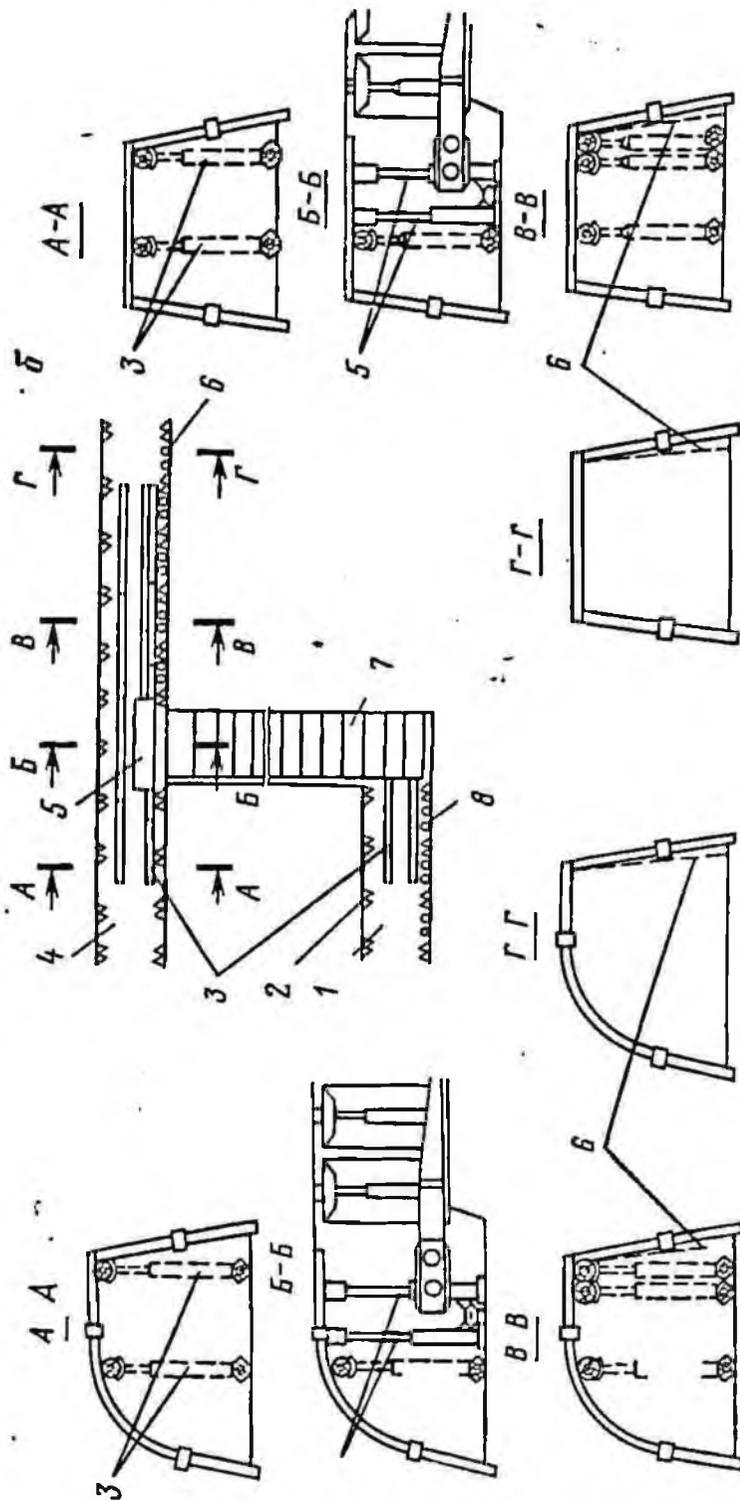


Рис. 3.40. Схема крепления, охраны и поддержания выемочных выработок с расположением головки забойного конвейера на штреке:

а — с арочно-трапециевидной крепью; б — с трапециевидной крепью; 1—4 те же, что к рис. 3.39; 5 — крепь сопряжения; 6, 8 — органичный ряд крепи; 7 — механизированный комплекс

за время 1978 г. далее до погрузки ленточный конвейер. Среднесуточная выработка составила 773 т, максимальная 1549 т. Производительность труда горнорабочего в смену 32,6 т.

В выработку лавы № 66 длиной 102 м была оборудована комплексом КМТБ с комбайном КШКГ. Повторно используемый штрек № 64 оставался одновременно с подвиганием лавы, а металлургическая штрековая крепь извлекалась. Среднесуточная добыча составила 759 т, максимальная 1718 т. Производительность труда горнорабочего в смену 30,4 т.

Для лавы выработки лавы № 64 сохранено в рабочем состоянии 1 км штрека, из них 170 м с использованием крепи КАТ и КМТБ. При подготовке его к повторному использованию штрековой крепи не производили. Основная работа заключалась в очистке штрека от просыпавшегося песка во время выработки, в заделке штрека, незначительной (до 0,2 м) подрывке почвы в отдельных его местах и настилке рельсовых путей. Стоимость дополнительных работ на 1 м выработки составила 120 руб.

Для предотвращения по сохранению штрека выполняли рабочие очистительные работы без задержки работ в лаве. Наличие выработки в выработке действительно сказалось на работе конвейерного штрека и показателях работы лавы, так как при неоднократных прорывах воды с выносом песка на первых от штрека секциях 2МКЭ создавались условия для эффективной ликвидации их последствий. Экономический эффект от повторного использования штрека № 64 составил свыше 13 тыс. руб.

Испытания показали, что технологическая схема, предусматривающая повторное использование штреков с перестановкой стоек штрековой крепи со стороны лавы, работоспособна. Средства крепления и охраны обеспечили безремонтное поддержание выработки при двукратном ее использовании с минимальными трудовыми и материальными затратами.

Успешное сохранение выработок для повторного их использования во многом зависит от правильно выбранных величин зон опорного давления для усиления штрековой крепи и охраны штрека. Проведенные комплексные исследования силового нагружения штрековых крепей и горного давления обрушенных пород в выработанном пространстве позволили определить длины этих зон. Для легких условий поддержания выработок они составили: в зоне опережающего опорного горного давления впереди первой лавы  $l_1 = 8$  м, в зоне активных смещений вмещающих пород позади первой лавы  $l_2 = 50$  м, в зоне опережающего опорного горного давления впереди второй лавы  $l_3 = 15$  м. Для средних условий поддержания  $l_1 = 12$  м,  $l_2 = 65$  м,  $l_3 = 20$  м.

Разработанные технологические схемы позволяют повторно использовать как вентиляционные, так и конвейерные штреки и предусматривают проведение выработок увеличенного сечения,

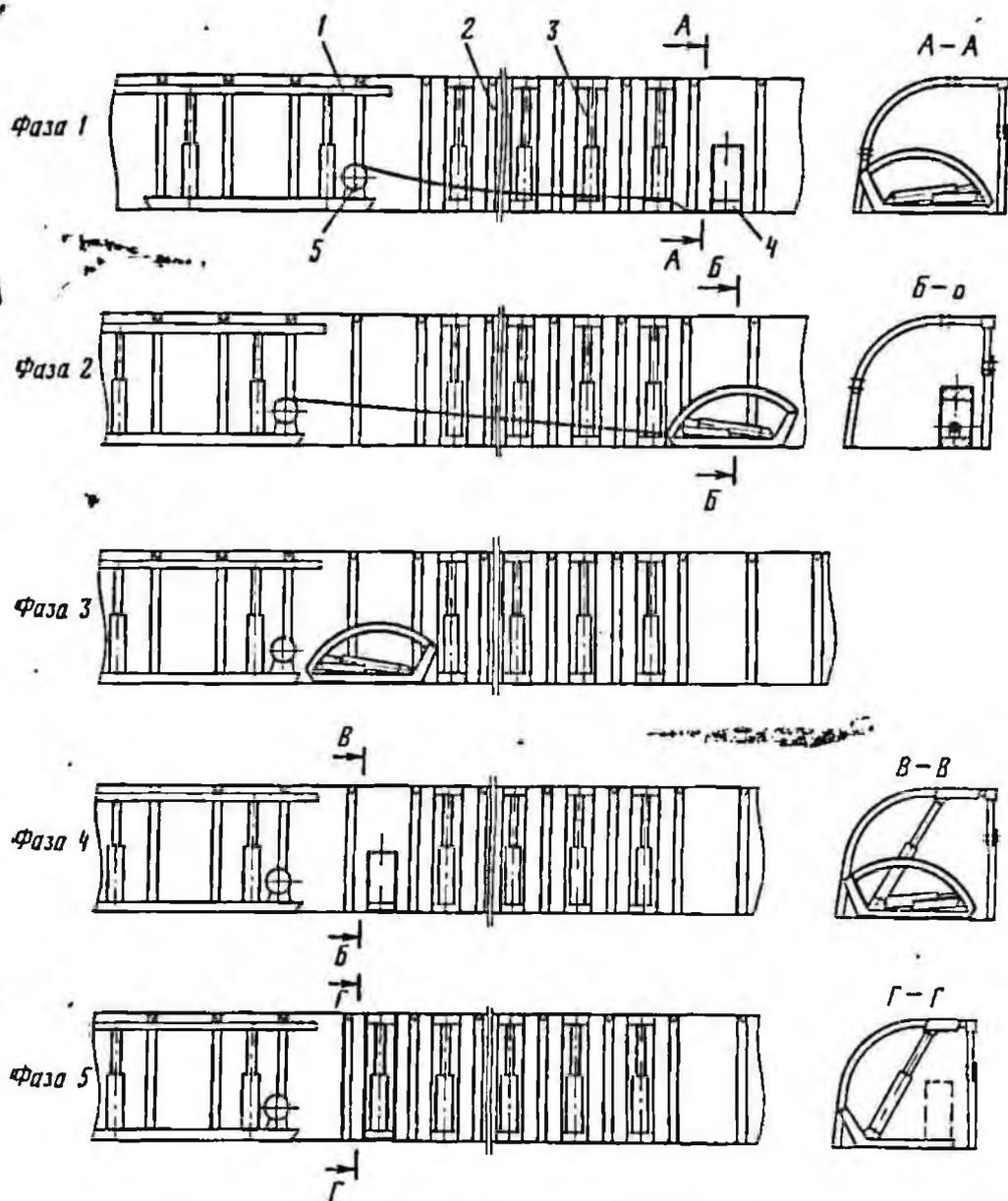


Рис. 3.41. Схема сохранения выработки при возведении секционной крепи усиления позади очистного забоя

применение в них податливых крепей повышенной несущей способности с дополнительным усилением в зонах активного проявления горного давления также податливыми конструкциями, охрану сохраняемых выработок органной крепью со стороны обрушенных пород, возможность их проветривания для производства работ по поддержанию и охране, достижение максимальной осушенности смежного выемочного столба. Технологические схемы применимы в легких и средних условиях поддержания выработок шахт Подмосковского бассейна.

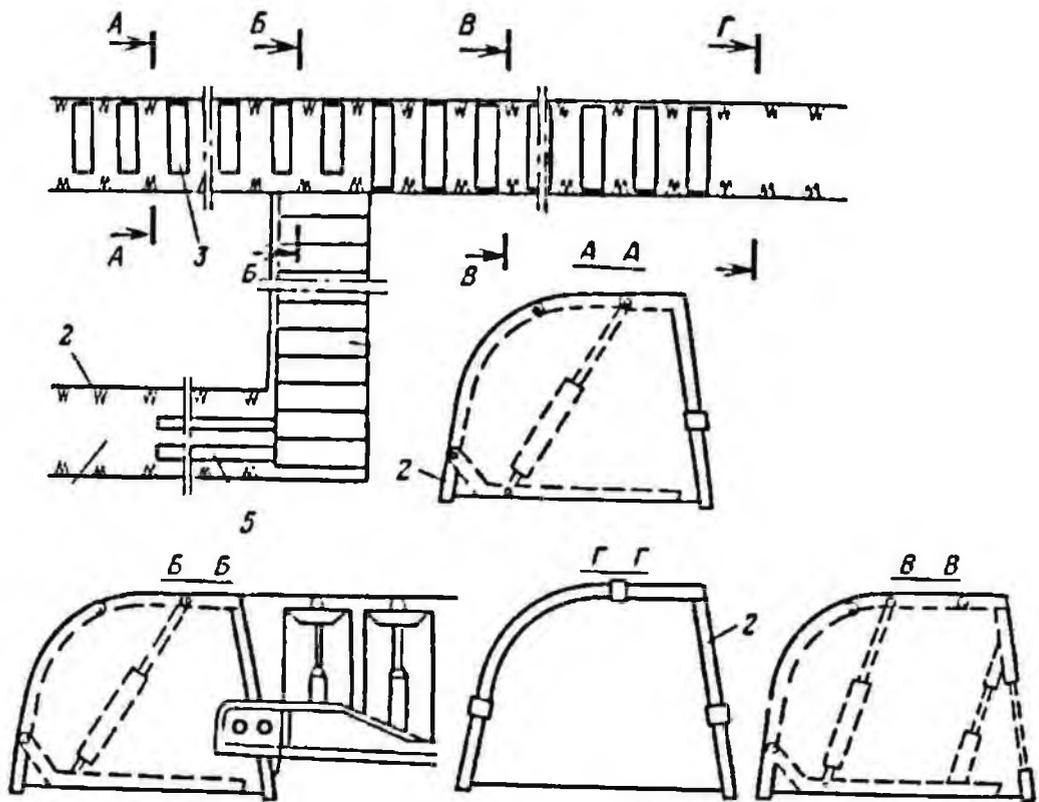


Рис. 3.42. Схема сохранения выработки при возведении секционной крепи усиления впереди очистного забоя:  
 1 — повторно используемая выработка; 2 — штрековая крепь; 3 — секции крепи усиления; 4 — механизированный комплекс; 5 — крепь усиления

Для поддержания повторно используемых выработок в тяжелых горно-геологических условиях ПНИУИ разработал специальные секционные крепи типов КУП и КШУ, которые предусматривают повторное использование как вентиляционных, так и конвейерных штреков.

При креплении сопряжения лавы с сохраняемым штреком механизированной крепью сопряжений крепь усиления КУП используют в зоне опорного давления за лавой. В момент отхода очистного забоя первой лавы от монтажной камеры сразу же за крепью сопряжения монтируют секции крепи усиления. Доставляют их по выемочному штреку и монтажной камере соседнего выемочного столба. На 1 м выработки устанавливают одну секцию, в зависимости от условий поддержания комплект крепи усиления может состоять из 45—70 секций.

После монтажа всего комплекта крепь усиления КУП переставляют в следующей последовательности (рис. 3.41). Секцию 3 (фаза 1), расположенную в части штрека, вышедшей за пределы зоны активных смещений (зона временного опорного горного давления), разгружают и складывают в транспортное положение 4. Затем ее разворачивают продольной осью вдоль

штрека (фаза 2) и транспортируют к новому месту установки в район крепи сопряжения 1. Разворот и перемещение секции по штреку осуществляют с помощью лебедки 5, смонтированной на крепи сопряжения. Доставив секцию 4 к крепи сопряжения 1 (фаза 3), ее разворачивают поперек выработки (фаза 4) и устанавливают в рабочее положение (фаза 5).

В такой последовательности поочередно ведется перемонтаж остальных секций по мере подвигания очистного забоя.

В качестве средств механизации процессов перемонтажа секций крепи усиления можно использовать машину «Штрек» или сочетание лебедки с монорельсом-подъемником.

При сохранении конвейерного штрека, когда стойки основной штрековой крепи не снимаются и нет крепи сопряжения, секционную крепь усиления КУП устанавливают впереди забоя лавы на расстоянии зоны временного опорного давления (рис. 3.42). Для обеспечения свободных проходов элемент секции со стороны лавы устанавливают за конвейером, и она поддерживает штрек на протяжении всей зоны временного опорного горного давления. После выхода секций в зону стабилизации их демонтируют и доставляют на новое место монтажа перед лавой, где возводят в рабочее положение.

## 4. КРЕПЛЕНИЕ И ПОДДЕРЖАНИЕ ЗОН СОПРЯЖЕНИЯ И МЕСТ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК

### 4.1. Общие положения

Способы подготовки шахтного поля и его участков для ведения очистных работ при подземной добыче угля предусматривают проведение в определенных местах шахтного поля подготовительных выработок с сопряжением или с пересечением их как между собой, так и с очистными забоями.

Под сопряжением горных выработок понимается: соединение двух и более в одну, отвлечение от основной выработки других, примыкание одной к другой.

Под пересечением выработок понимают тот случай их сопряжения, когда после пересечения они сохраняют свои геометрические параметры и функциональное назначение, т. е. остаются такими же, какими они были до пересечения друг с другом. Сопряжения подготовительных выработок между собой имеют постоянное расположение в пространстве, сопряжения же подготовительных выработок с очистными забоями являются перемещающимися участками, в пределах которых производят комплекс технологических операций: выемка угля в лаве и на ее концах, транспортирование угля на погрузочный пункт, крепление мест сопряжений и примыкающих к ним участков, другие виды работ.

Сопряжения подготовительных выработок подразделяют на: ответвления прямоугольные и остроугольные, разветвления под углом по прямолинейным и криволинейным направлениям и примыкания прямоугольные и тупоугольные. Встречающиеся виды сопряжений и пересечений подготовительных выработок приведены на рис. 4.1, где штриховкой показана крепь сопряжений и пересечений. Пример прямоугольного примыкания — сопряжение монтажной камеры с транспортным или вентиляционным штреком. Сопряжения с двусторонним ответвлением выработок образуют большую площадь обнажения кровли, что увеличивает затраты на их крепление и поддержание. В этой связи предпочтительно сооружать два разнесенных сопряжения, смещая ответвляющиеся выработки одна относительно другой.

В зависимости от назначения выработок и оснащенности транспортными средствами сопряжения их друг с другом проводят по криволинейной траектории с радиусом закругления рельсового пути при электровозной откатке 8, 20 м и более или по прямолинейной траектории — при конвейерном транспорте. Площадь зоны сопряжения зависит от величины радиуса закругле-

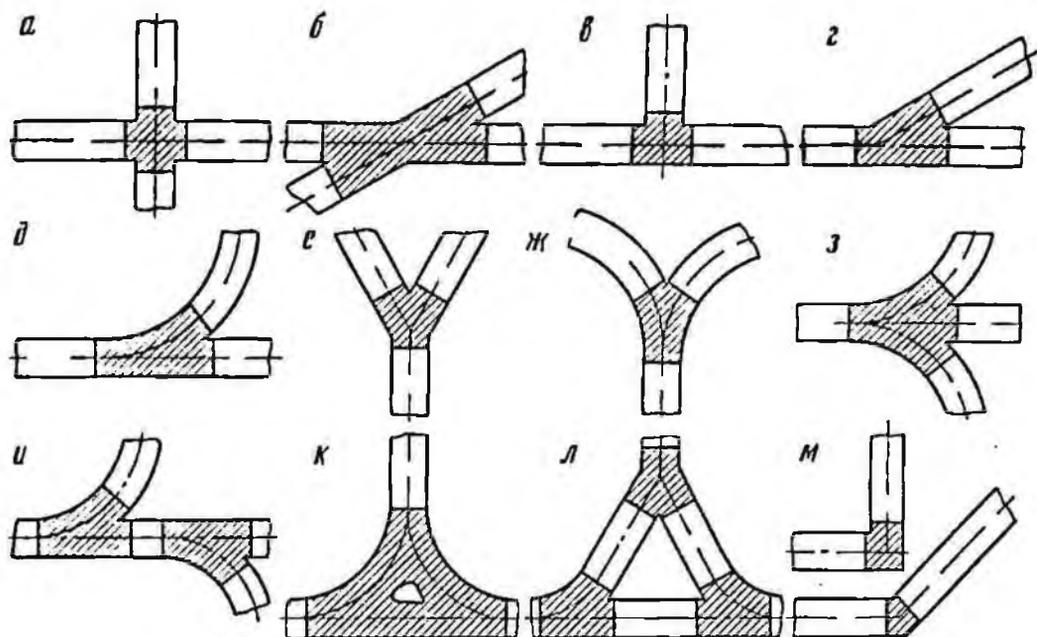


Рис. 4.1. Виды сопряжений и пересечений горных выработок:

*а* — прямое пересечение; *б* — косое пересечение; *в* — прямоугольное ответвление; *г* — остроугольное ответвление; *д* — ответвление по кривой; *е, ж* — соединение двух выработок в одну; *з, и* — двустороннее ответвление с разносом выработок; *к, л* — сопряжение трех выработок (треугольный узел); *м* — прямоугольное и тупоугольное примыкание выработок

ния ответвляющихся выработок и угла их сопряжения. С увеличением радиуса закругления или с уменьшением угла сопряжения выработок площадь зоны сопряжения увеличивается.

В зависимости от формы сопрягающихся выработок различаются сопряжения с плоской формой перекрытия, сводчатой и сложной. Преимущества плоского перекрытия над сводчатым: простота разделки сопряжения, меньший объем выемки горных пород, небольшие сроки возведения средств крепления сопряжений, возможность использования разнообразных материалов для несущих элементов крепи сопряжения (прямолинейных отрезков стального проката, двутавровых балок, швеллера, железобетонных стоек и верхняков, деревянных стоек и т. д.). Недостатки такой формы перекрытия связаны с низкой несущей способностью прямолинейных элементов при восприятии изгибающих нагрузок, вследствие чего требуется применять более тяжелые несущие элементы, что увеличивает стоимость материалов и затраты труда. Крепи сопряжения с плоским перекрытием применяются, как правило, в легких условиях поддержания.

Крепи сопряжений со сводчатой формой перекрытия имеют повышенную несущую способность, поскольку в качестве несущих в них использованы в основном криволинейные элементы арочных и кольцевых крепей из спецпрофиля. Однако такие крепи сложны в установке, требуют выемки большого объема гор-

ных пород. Применяются они в средних и тяжелых условиях под-  
держания.

Большое разнообразие подготовительных выработок, различные сроки их службы и назначения определяют многообразие способов и средств крепления их сопряжений. Сопряжения среднего и большого сечения крепят металлической арочной крепью. Для предотвращения сдвига арок и увеличения устойчивости крепи наиболее ответственные участки сопряжений бетонируют. Сопряжения выработок небольшого сечения и малого срока службы крепят деревянными рамами. В наиболее опасных зонах в этом случае устанавливают усиливающие металлические верхники, камерные рамы или балки перекрытия.

Выбор целесообразной формы сопрягающихся выработок производят с учетом устойчивости боковых пород, назначения, срока службы и горнотехнических условий эксплуатации выработок. Сечения выработок должны по возможности вписываться в пласт без присечки боковых пород.

Площадь сечения зон сопряжений выбирается с учетом габаритов транспортных средств, соблюдения необходимой ширины свободных проходов и условий проветривания. При электровозной откатке ширину ответвляющейся выработки дополнительно увеличивают на величину выбега локомотива и вагонок за траекторию рельсового пути. На закруглениях горизонтальных выработок и их сопряжениях между собой ширину выработки с наружной стороны кривой увеличивают на 300 мм, с внутренней — на 100 мм. При этом расстояние между осями рельсовых путей следует увеличивать на 300 мм. На шахтах Подмосковского бассейна площадь сечения сопрягаемых выработок главных направлений составляют 6—18 м<sup>2</sup>, выработок, примыкающих к очистным забоям — 5—12 м<sup>2</sup>; как правило, выбирают площадь сечения 7—9 и 5—7 м<sup>2</sup> соответственно. Площадь сечения сопрягаемых выработок и их распределение по назначению:

площадь сечения, м <sup>2</sup>	выработки, % главных направлений	выемочные
5—7	24	71,8
7—9	33,6	26,4
9—11	24,7	1,2
11—14	10	0,6
14—18	7,7	—

По сроку службы сопряжения подразделяют на общешахтные, когда срок службы равен сроку службы шахты или ее крыла, участковые со сроком службы, равным сроку отработки участка, и временные. К числу временных можно отнести сопряжения монтажных камер со штреками, срок службы которых несколько превышает срок монтажа механизированного комплекса. Срок службы всех элементов крепи во всех случаях должен быть не меньше срока службы сопряжения.

По разновидности вмещающих горных пород разделяют сопряжения, пройденные по углю, по породе и с присечкой боковых пород пласта. Для разделки сопряжений, как правило, выбирают участки с более устойчивыми породами в кровле, такими, как глина, известняк, углистые и глинистые сланцы, а также уголь.

Качественный и количественный состав вмещающих пород и угля сопряжений выработок, %:

	Кровля	Почва
Глина . . . . .	35,8	53,3
Песок . . . . .	13,9	32,9
Известняк . . . . .	0,7	10,2
Сланец . . . . .	5,8	0,7
Уголь . . . . .	43,8	2,9

#### 4.2. Конструкция крепей сопряжения подготовительных выработок

Крепи сопряжений должны удовлетворять следующим требованиям:

обеспечивать рабочее состояние сопряжений и безопасную работу в них в течение всего срока службы;

иметь минимальные суммарные материальные и трудовые затраты на изготовление, установку, эксплуатацию в течение всего срока службы;

быть технологичными в изготовлении, транспортабельными, надежными в работе, удобными для ремонта;

быть огнестойкими и не оказывать значительного сопротивления движению воздуха по выработкам.

Конструктивные схемы отдельных применяемых на практике [11] металлических крепей сопряжений выработок, закрепленных рамными крепями, показаны на рис. 4.2—4.5.

На рис. 4.2 показана крепь сопряжения выработок с металлической арочной крепью без опорных балок и с опорными балками.

На сопряжениях выработок, закрепленных металлической арочной крепью, когда на участке пересечения (примыкания) образуется острый угол, возводят бетонную опору в виде «утюга», в которую заделывают концы металлических полудуг арочной крепи обеих выработок.

Сводчатое сечение выработок, закрепленных арочной металлической крепью, в местах сопряжения в ряде случаев заменяют крепями с плоским верхняком и закрепляют камерными металлическими рамами трапецевидной или прямоугольной формы с перекрытием металлическими балками.

Металлическая арочно-кольцевая крепь сопряжения штреков конструкции ПНИУИ показана на рис. 4.3.

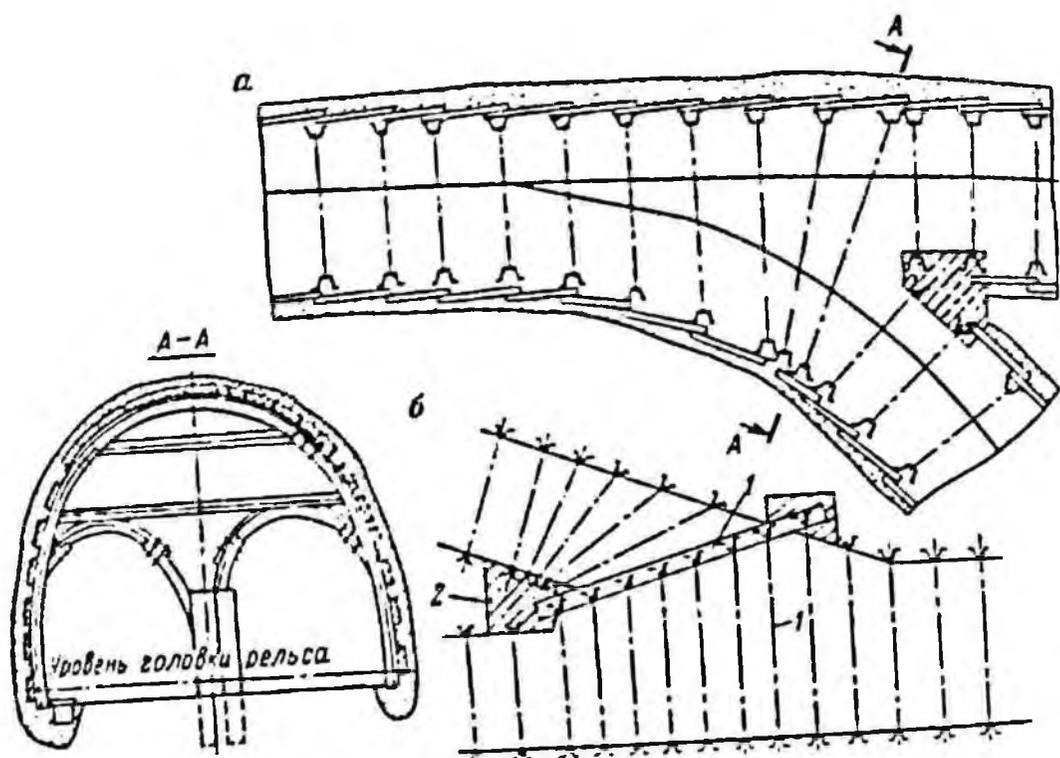


Рис. 4.2. Схема крепи сопряжения выработок с металлической арочной крепью:  
 а — без опорных балок; б — с опорными балками

На рис. 4.4 показано крепление сопряжения выработок круглого сечения металлическими кольцами из спецпрофиля, осуществленное на шахте «Нелидовская». Здесь применены (в переходной части) овальные металлические кольца переменного сечения. Радиус кривизны верхних и нижних сегментов колец изменяется в пределах 3050—3800 мм, радиус боковых звеньев — 1500—1800 мм. Металлические стяжки, соединяющие кольца, расположены вблизи стыковых соединений таким образом, чтобы препятствовать скольжению звеньев крепи.

На рис. 4.5 показан один из вариантов крепления сопряжения трех выработок с несимметричным двусторонним расположением примыкающих выработок, закрепленных металлической арочной крепью. Крезь сопряжения включает бетонные опоры, металлические арки с полуарками.

Места пересечений двух выработок можно крепить деревянной крепью под прямым и острым углом (прямое и косое пересечение). Крезь прямого пересечения состоит из двух камерных рам и верхняков, опирающихся на камерные рамы, крезь косого пересечения — из четырех камерных рам и полурам. Образующиеся при косом пересечении острые углы часто крепят бетоном. Камерная рама представляет собой трапецевидную или прямоугольную неполную раму из деревянных стоек с окованными по-

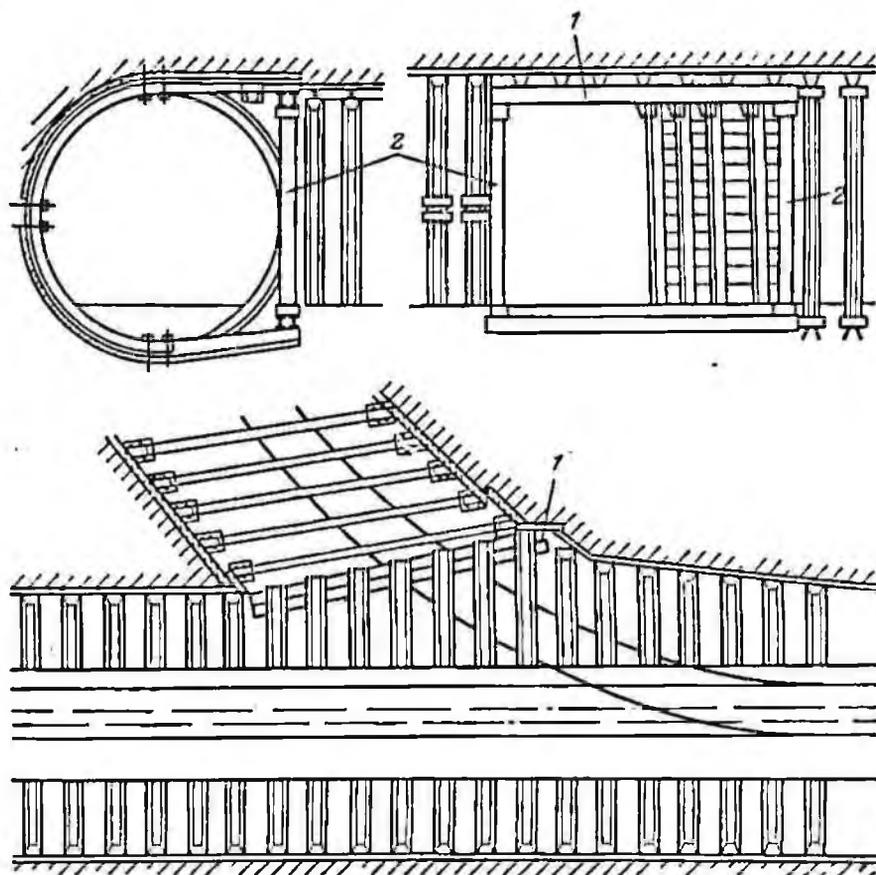


Рис. 4.3. Схема металлической арочно-кольцевой крепи сопряжений штреков:  
 1 — верхняк камерной рамы; 2 — стойки камерной рамы

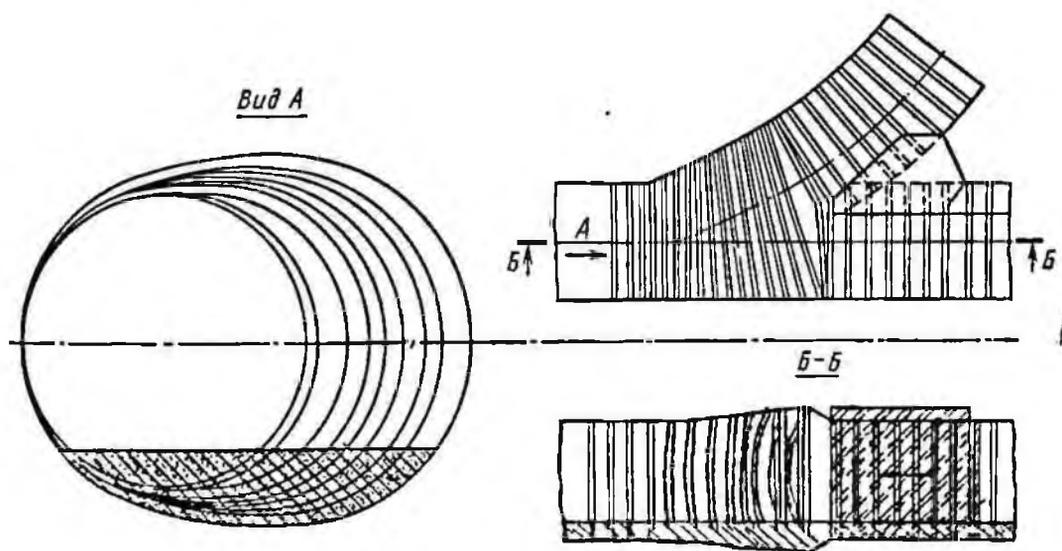
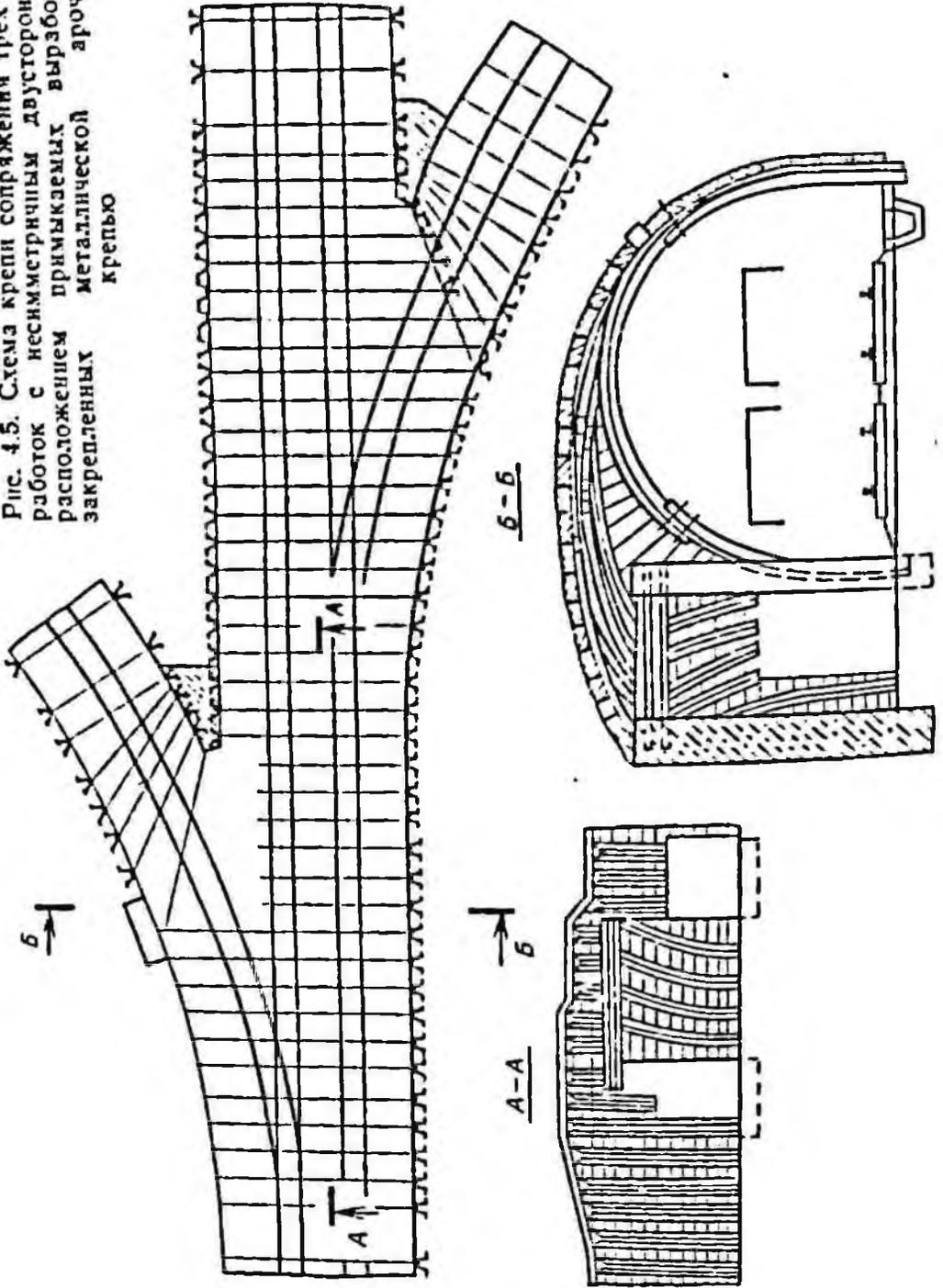


Рис. 4.4. Схема крепи сопряжения выработок, закрепленных металлической кольцевой крепью

Рис. 4.5. Схема крепи сопряжения трех выработок с несимметричным двусторонним расположением примыкаемых выработок, закрепленных металлической арочной крепью



лосовой сталью верхними концами и деревянных или металлических верхняков.

Камерные рамы воспринимают значительную нагрузку, приходящуюся на перекрытие, поэтому их изготавливают более прочными, чем обычные рамы сопрягаемых выработок.

Полурама, или «крючок» состоит из одной стойки и верхняка, опирающегося одним концом на стойку, другим — на верхняк камерной рамы.

Наибольшие трудности для проектирования и возведения, как показывает практика, представляют сопряжения откаточных выработок. Крепление их осуществляют, как правило, разрезными арками, элементы которых изготавливают по особому заказу.

При выборе типа крепи сопряжения необходимо исходить из формы и конструкции крепи, установленной в сопрягаемых выработках. Если сопрягаемая выработка закреплена кольцевой металлической, арочной или трапециевидной крепью, то такой же должна быть и крепь сопряжения.

На шахтах Подмосквовного бассейна широкое применение получили металлические и железобетонные крепи подготовительных выработок конструкции ПНИУИ. В соответствии с ними разработаны, испытаны и рекомендованы к применению различные конструкции крепей сопряжений.

Исследованиями установлено, что для практических расчетов нагрузки на верхняки основной (камерной) рамы сопряжений можно принимать как равномерно-распределенные и равные: для легких условий поддержания 50 кН/м, для средних 80 кН/м и для тяжелых 110 кН/м.

В легких условиях поддержания рекомендуют применять трапециевидную крепь, изготовленную из металла или сборного железобетона соответствующих параметров. В этих условиях хорошо показала себя жесткая крепь.

В средних и тяжелых условиях поддержания рекомендуют к применению ограниченно податливую конструкцию арочной или кольцевой крепи, позволяющую снижать нагрузку на основные (камерные) рамы сопряжения. Во всех случаях основные рамы сопряжения должны быть прямоугольного очертания и жесткой конструкции.

Крепи сопряжения однопутных выработок. Для крепления сопряжений однопутных выработок с колеей 600 и 900 мм в легких условиях поддержания рекомендуется использовать жесткую железобетонную трапециевидную и арочную податливую смешанную крепь. Первая крепь состоит из железобетонных прямолинейных верхняков различной длины и стоек. Под концы основной балки подводятся по две (спаренные) трапециевидного сечения стойки, скрепленные металлическими обоймами, приваренными к балке. Бока и кровля выработки у сопряжения забира-

ются железобетонной затяжкой. Плотность установки крепи выбирают с учетом величины ожидаемой нагрузки.

Арсенная податливая смешанная крепь собирается из двух железобетонных трапецевидных стоек, двух металлических переходников и арки из спецпрофиля СВП17. Общая длина участка, где устанавливают крепь сопряжения, в зависимости от радиуса закругления составляет 12—15 м. Первую раму крепи на сопряжении (начало уширения выработки со стороны заезда) устанавливают на расстоянии 1 м до стрелочного перевода. Основная несущая рама, на которую опираются арки, сваривается из двух двутавровых металлических балок, подбираемых в зависимости от нагрузки на крепь с кровли. При слабых почвах стойки основной рамы устанавливают на лежни или железобетонные плиты.

Верхний элемент основной (камерной) рамы изготавливается из двух балок, сваренных по всей длине. Сверху к балке приваривается швеллер ребрами вверх для предотвращения смещения верхних сегментов крепи.

При разделке сопряжений с большим радиусом закругления опорную стенку для основной балки желательно сооружать из бетона или бетонитов. В зависимости от условий поддержания на 1 м выработки устанавливают 2—3 рамы.

Крепи сопряжений двухпутных выработок с однопутными. Арсенную комбинированную податливую крепь для сопряжений двухпутных выработок с колесей 600 и 900 мм применяют в легких и средних условиях по поддержанию. В комплект крепи входят две железобетонные стойки, два переходника и арка из спецпрофиля.

Арки крепи опираются одним концом на стойки штрековой крепи, другим на балку основной (камерной) рамы, собираемой из двух двутавровых балок, сваренных вдоль, и швеллера, привариваемого к балке ребрами вверх. Номер двутавровой балки выбирается в зависимости от ожидаемой величины горного давления. Балка основной рамы опирается на два куста железобетонных стоек, собранных из 2—4 трапецевидных стоек и установленных по обоим концам несущей балки с наклоном 5—7° к основному штреку.

При слабых породах в почве под стойки укладывают железобетонные подушки или лежни.

Металлическую кольцевую крепь для сопряжений двухпутной выработки с однопутной (колея 600 и 900 мм) применяют в тяжелых условиях поддержания при повышенном горном давлении со всех сторон выработки.

При разделке сопряжения со стороны заезда вынимают боковые сегменты, используемые для крепления бока заезда. Верхние сегменты всех колец, под которыми будут устанавливать балку (верхняк) основной рамы, укорачивают до 250 мм. Основная балка собирается из двух двутавровых балок, сваренных между

собой по длине. На балку приваривают швеллер ребрами вверх для фиксирования опоры сегментов кольцевой крепи. Лежень изготовляют из двутавровых балок. Верхняя несущая балка основной рамы опирается на боковые сегменты, устанавливаемые по концам между балкой и лежнем.

Металлическая кольцевая крепь для сопряжения двухпутных выработок с выемочными штреками (колея 600 и 900 мм) рекомендуют применять при радиусе закругления 4,5—5,0 м (или при Т-образном сопряжении). Способ крепления аналогичен приведенным выше; отличие — более короткая (3,5 м) балка основной рамы. Основная рама вписывается в сечение выработки без подрыбки породы.

Для типичных условий бассейна применяются (предложенные ПНИУИ) следующие конструкции крепей сопряжений выработок:

жесткая железобетонная трапецевидная (для крепления сопряжений однопутных выработок в легких условиях поддержания);

деревянная или металлическая трапецевидная для крепления сопряжений двухпутных выработок с однопутными в легких и средних условиях поддержания;

арочно-кольцевая металлическая для крепления сопряжений выработок в средних и тяжелых условиях поддержания при повышенных нагрузках с боков выработки;

металлическая кольцевая для крепления сопряжений двухпутных выработок с однопутными в тяжелых условиях поддержания при всесторонних нагрузках.

Камерные (основные) рамы указанных крепей сопряжений состоят из верхняка, сваренного из двух (трех) двутавровых балок; двух опор, состоящих из двух металлических или четырех железобетонных стоек каждая (по две спаренные стойки через 0,3—0,5 м между ними); лежня, сваренного из двух (трех) двутавровых балок на один-два типоразмера (номера) меньше, чем основной камерный верхняк. Лежни укладывают при наличии в почве слабых или пучащих пород.

Крепи сопряжений подготовительных выработок с очистными забоями. В зонах сопряжения очистных забоев с подготовительными выработками площадь обнажения кровли достигает 10—15 м<sup>2</sup>. При этом крепь сопряжения испытывает повышенное горное давление, вызванное влиянием очистных работ в отработываемом и ранее отработанным выемочных столбах.

Сопряжение подготовительных выработок с очистным забоем представляет собой, как правило, прямоугольное примыкание монтажной камеры к выемочным штрекам. Крепь сопряжения состоит из одной или двух спаренных камерных рам и полурам. Камерные рамы можно устанавливать сразу при проведении тупиковой части выемочного штрека или после его проведения на

расстоянии 10—12 м от забоя. В местах примыкания сопрягаемых выработок плотность крепи в них увеличивается.

Надежное поддержание пород кровли в местах сопряжений, в том числе и над приводными головками забойного передвижного конвейера, достигается с помощью индивидуальных стоек с жесткими прогонами либо с помощью механизированных крепей сопряжений. При использовании механизированных крепей трудоемкость работ по поддержанию кровли на сопряжении снижается в среднем в 1,7—2,3 раза и в значительной степени повышается безопасность труда.

#### 4.3. Технология проведения и крепления сопряжений

Выбор технологических схем проведения сопряжений зависит от формы и площади сечения выработки, материала крепи, вида забоя, свойств вмещающих пород, объема подрывки, обводненности, наличия транспортных средств.

Технологическими схемами предусматривается максимально возможная в заданных условиях механизация проходческих работ на базе использования наиболее прогрессивного проходческого оборудования.

Технология возведения крепи сопряжения подготовительных выработок значительно сложнее, чем крепление собственно подготовительных выработок, и в каждом конкретном случае имеет свои специфические особенности. Однако все технологические схемы имеют некоторые общие операции и правила:

крепь выработки в зоне сопряжения усиливают стойками, устанавливаемыми под продольные балки, которые подхватывают верхники всех рам крепи на участках сопряжений;

нишу, необходимую для устройства камерной рамы, закрепляют временной крепью;

рамы крепи, установленные при проведении выработки, последовательно демонтируют и заменяют полурамами или неполными арками крепи сопряжения;

после возведения крепи сопряжения снимают временную крепь и проводят примыкающую выработку.

Крепят сопряжения и пересечения чаще всего металлическими камерными рамами и полурамами с бетонированием острых углов, образуемых сопрягаемыми выработками в местах их примыкания друг к другу, реже металлобетоном, железобетоном, бетоном и смешанной крепью.

Конструкцию крепей сопряжения и способ крепления в зависимости от вида сопряжения, горно-геологических и производственно-технических условий их поддержания определяют в каждом конкретном случае и в соответствии с паспортом крепления сопряжения, проведения и крепления подземных выработок.

Сопряжения горизонтальных выработок крепят по двум схемам: первой — сопряжение сооружают сразу на проектное сечение; второй — сопряжение сооружают с расширением ранее проведенной выработки до проектного сечения.

При применении первой схемы крепление сопряжения начинается с установки временной крепи, затем производят возведение бетонных стоек и боков сопряжения, железобетонного перекрытия из двутавровых балок с заполнением пространства между ними бетонной смесью, снятие опалубки и оборудование выработки.

При применении второй схемы крепление сопряжения также начинают с установки временной крепи по всей площади сечения магистральной выработки, затем возводят одну бетонную стену и бока сопряжения, крепят расширенную часть временной крепью, возводят другую бетонную стену на всю длину сопряжения, крепят временной крепью свод на полную длину сопряжения, устанавливают опалубку и бетонируют свод, затем снимают опалубку.

Укладку бетонной смеси на сопряжении производят с помощью того же оборудования, что и при креплении магистральной выработки.

На шахте «Подмосковная» сопряжение первого восточного главного вентиляционного штрека с восьмым северным главным вентиляционным штреком проводилось полным сечением по первой технологической схеме (рис. 4.6).

Крепление сопряжения осуществляли железобетонными стойками конструкции ПНИУИ, удлиняемыми отрезками спецпрофи-

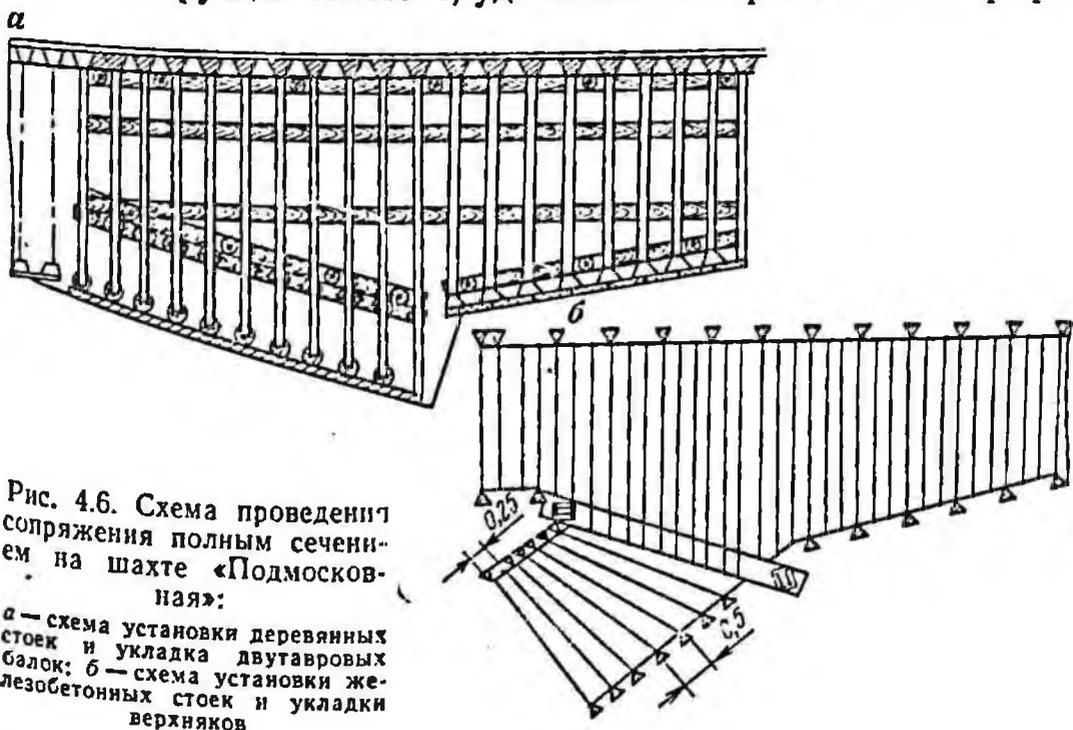


Рис. 4.6. Схема проведения сопряжения полным сечением на шахте «Подмосковная»:

а — схема установки деревянных стоек и укладки двутавровых балок; б — схема установки железобетонных стоек и укладки верхняков

ля СВП22, в качестве верхняков были применены двутавровые балки. Плотность установки крепи — три рамы на 1 м с железобетонной затяжкой боков и кровли.

Камерные рамы состоят из верхняков, выполненных из трех двутавровых балок № 30 длиной 5,2 м, и двух колонн, состоящих из пакета балок № 23 длиной 2,7 м, лежниц — три рельса Р-21 длиной 5,2 м. По кровле между балками пробивают распорки из круглого леса. После установки камерных рам элементы их сваривают между собой.

Работы по проведению и креплению сопряжения вело звено проходчиков в составе 4—5 чел с первого восточного главного вентиляционного штрека, закрепленного металлической трапециевидной крепью площадью сечения в свету 11,9 м<sup>2</sup>. Работы вели по пяти последовательным участкам (в пять фаз) в следующем порядке.

Снимают на участке 1—2 (фаза 1) не более двух рам крепи штрека, отбивают (со специального полка) горную породу в верхней части забоя на глубину заходки, равную 1 м. По мере выемки породы в кровле устанавливают сплошную затяжку из досок толщиной 40 мм, при этом один конец ее укладывают на верхняк ранее установленной рамы, другой в щель забоя. Горную массу отгружают в вагонетки.

После выемки верхней части забоя оформляют бока выработки, подготавливают место для установки стоек. Затем последовательно устанавливают рамы из железобетонных стоек и верхняков из двутавровых балок, кровлю и бока забирают железобетонной затяжкой. По окончании крепления зачищают почву, а по замкам рам пробивают вандруты на лежнях. Площадь сечения выработок составляет 15,6 м<sup>2</sup>.

На участке 2—3 (фаза 2) работы по выемке горной массы и установке полада выполняют в той же последовательности, как и в предыдущей фазе. На этом участке сперва устанавливают удлиненные железобетонные стойки справа, а слева деревянные, при этом обе стойки устанавливают так, чтобы при возведении камерных рам не снимать деревянных стоек (см. рис. 4.6, а). На железобетонные и деревянные стойки укладывают двутавровую балку № 23 («крючок»), проверяют отвесом точность установки рамы, затем раму расклинивают. В аналогичной последовательности устанавливают следующие две рамы; производят затяжку кровли и боков справа железобетонной плитой, слева обалом.

После установки рам, затяжки кровли и боков, слева, на расстоянии 1,4 м от замков рам под каждую консоль балки (под «крючок») пробивают деревянные стойки на лежнях. Рядом со стойками и по замкам рам справа пробивают вандруты. Деревянные стойки слева скрепляют стропильными скобами. Далее цикл повторяется.

В фазе 3 после проходки участка 2—3 устанавливают камерные рамы. Для этого слева под концами консолей балок проводят канавку, в которую укладывают лежни из трех рельс Р-24. На концах лежней устанавливают колонны и крепят к деревянным стойкам рам. Для укладки верхняков сооружают полку из досок толщиной 60 мм. С этого полка верхняки камерных рам, состоящие из двутавровых балок № 30 длиной 5,2 м, по одной укладывают на колонны под концы «крючков» и поджимают гидравлическими стойками ГС. Затем производят сварку всех элементов камерных рам между собой и снятие вандрутов и стоек.

Участок 4—5 (фаза 4) проходят в сторону примыкающего штрека обычным способом, снимают деревянные стойки, устанавливают сплошную затяжку (посад) кровли слева на величину заходки, равную 1 м, а справа — на 0,6 м. Затем выбирают породу в боках (см. рис. 4.6, б), устанавливают железобетонные стойки (слева через 0,5 м, справа — 0,25 м), на которые укладывают верхняки, затягивают кровлю и бока, забутовывают закрепные пустоты.

Аналогичным образом выполняют фазу 5 по проведению сопряжения.

В качестве примера, рассмотрим по второй схеме технологию проведения сопряжения двухпутной выработки с однопутной, [32] осуществляемое в породах с коэффициентом крепости  $f=1$ . Сечения сопряжения в свету 12,4—22,8 м<sup>2</sup>, в проходке 28,4—47,4 м<sup>2</sup>. Выемку породы производят при помощи отбойных молотков, погрузку — машиной ППМ-4э в вагонетки ВГ-2,5. Обмен и откатку вагонеток осуществляют контактными электровозами. Постоянная крепь — железобетонная, для укладки бетона используют бетоноукладчик БУК-2. Водопонизительные работы в забое выполняют с помощью вакуумной установки типа УЗВ или КСВ. Сопряжение проводят в семь этапов (фаз). Разбивка сечения по фазам и схема проведения сопряжения показаны на рис. 4.7, а, б.

В фазе 1 проводят выработки трапецевидной формы площадью сечения в проходке 15,3 м<sup>2</sup>. При этом возводят деревянную крепь (плотность три рамы на 1 м), затягивают всплошную бока и кровлю выработки и устанавливают двухсторонний подхват (рис. 4.7, в). Выработку проводят на длину 16 м. По мере проведения устанавливают забивные фильтры.

В фазе 2 производят разделку боков и кровли выработки с расширением ее до проектного сечения (рис. 4.7, г). При этом снимают временную деревянную крепь, двухсторонний подхват и устанавливают арочную металлическую крепь при плотности 2 рамы на 1 м.

В фазе 3 устанавливают арматуру в стены и свод, выставляют опалубку и производят бетонирование стен и свода (рис. 4.7, д).

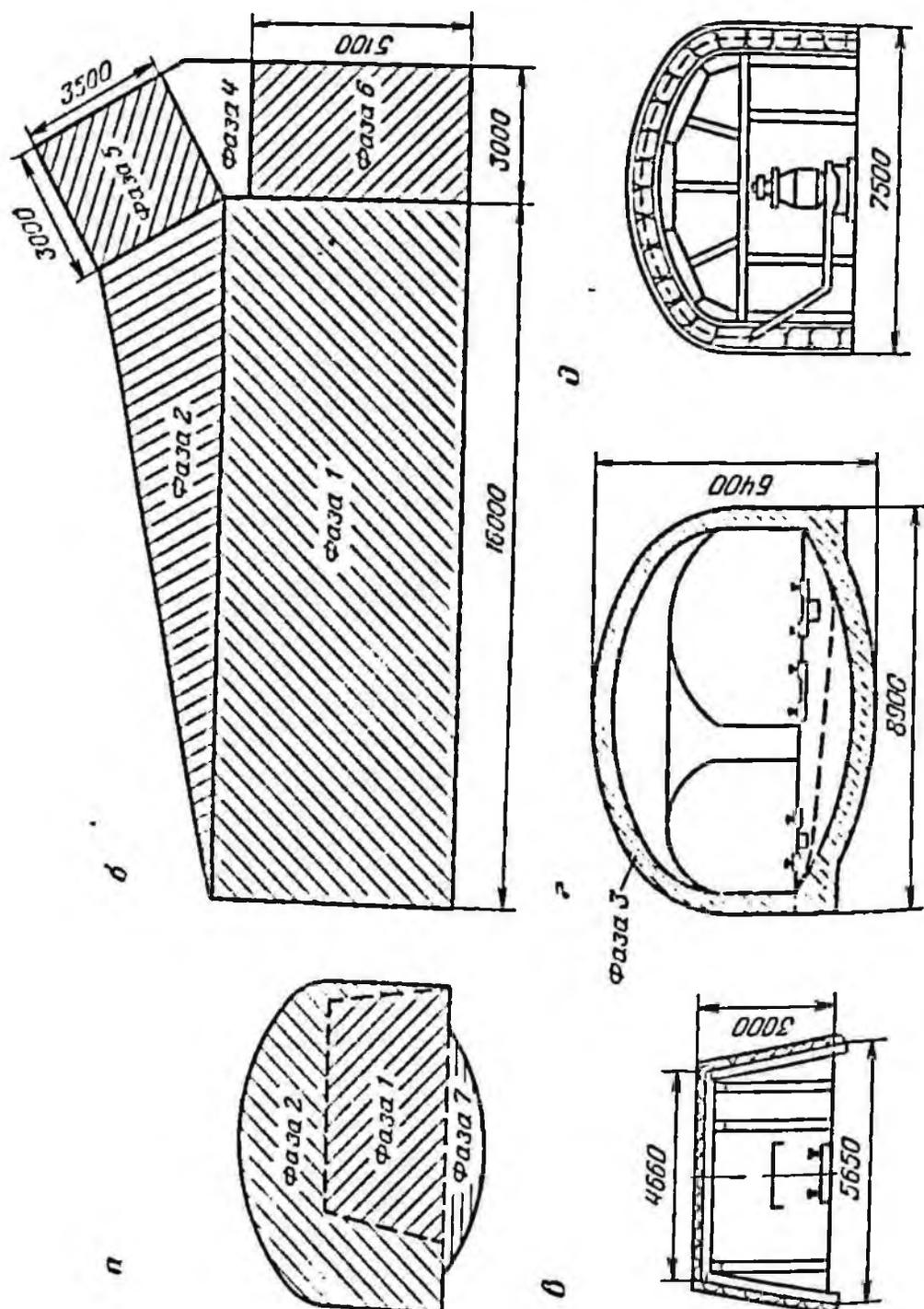


Рис. 4.7. Технологическая схема проведения сопряжения двухпутной выработки с однопутной:

а — разбивка сечения по фазам; б — схема проведения сопряжения; в — проведение выработки трапециевидного сечения, установка двухстороннего подхвата; г — проектное сечение выработки; д — установка бетона

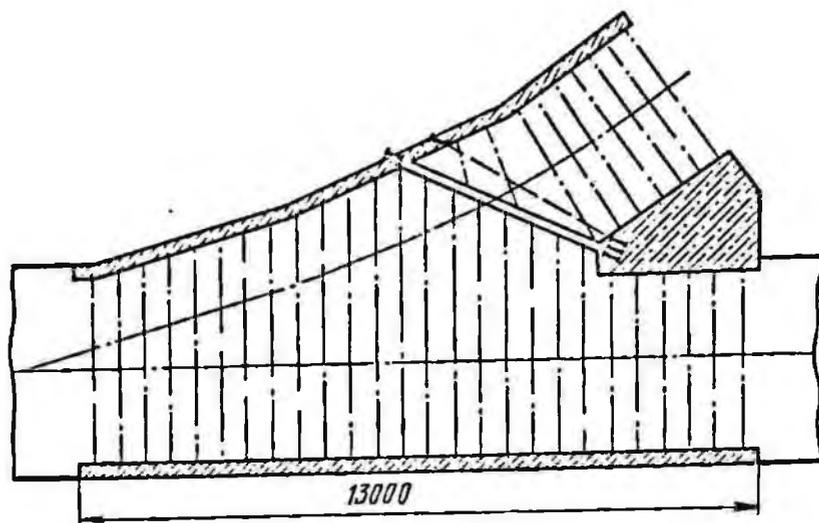


Рис. 4.8. Схема проведения сопряжения однопутных выработок на шахте «Прогресс»

Работы в фазах 2 и 3 производят последовательными заходками по 5 и 3 м в части выработки, проведенной в фазе 1 на длину 16 м.

В фазе 4 после проходки и бетонирования выработки на указанную длину, приступают к сооружению опоры («утюга»).

Фазы 5 и 6 включают работы, связанные с проведением и креплением оставшейся части сопряжения, т. е. однопутной выработки площадью сечения в проходке  $14,7 \text{ м}^2$  и двухпутной площадью сечения в проходке  $22,8 \text{ м}^2$  длиной по 3 м каждая.

В фазах 6 и 7 выполняют работы по сооружению обратного свода, но после окончания проведения и крепления верхней части сопряжения на всю длину. Работы в обратном своде начинают со снятия временного рельсового пути, выемки и погрузки породы, после чего укладывают арматуру и производят бетонирование, затем подсыпают песок, сооружают водоотливную канавку, настилают постоянный рельсовый путь и укладывают стрелочный перевод.

При реализации этой схемы среднемесячная скорость проведения сопряжения предположительно  $300 \text{ м}^3$  при среднем времени сооружения 1 м 34 ч. Число проходчиков в смену 5 чел. Ориентировочные затраты на 1 м сопряжения около 1100 руб.

По аналогичной технологической схеме (рис. 4.8) были проведены сопряжения однопутных выработок на шахтах «Прогресс» и «Бельковская» (без сооружения обратного свода).

Сопряжение однопутной выработки с двухпутной при щитовой проходке предусматривает применение разработанных ВНИИОМШС специальных тубингов сопряжения [32]. При этом разделка сопряжения производится по фазам.

При проведении выработки при помощи щита место будущего сопряжения крепят блоками специальной конструкции, которая обеспечивает быструю разборку проема на длину 8 м. Верхний и нижний ряды блоков в месте проема укрепляют балками-подхватами длиной 10 м, которые представляют собой швеллер с прорезями; их размещение соответствует положению петель в блоках. При установке петли входят в прорези балки и между ней и петлей вбивают клинья, фиксирующие балку.

При разборке проема сначала снимают клинья блока, затем остальные блоки на всю длину проема (два ряда блоков по восемь в каждом ряду). Устанавливают камерную раму, которая состоит из двух камерных стоек из двутавра № 27, удерживающих боковые блоки, и камерных балок из двутавра № 27, фиксирующие верхние и нижние ряды блоков. Во избежание прогиба камерные балки поддерживают деревянными подпорками, устанавливаемыми через 2 м. Закончив эти операции, приступают к выемке породы в сопряжении.

Выемку породы в первой фазе производят при помощи отбойных молотков, временное крепление — деревянными рамами со сплошной затяжкой кровли и боков. Расстояние между рамами 0,5 м.

При отходе забоя на 7 м работы по проходке останавливают. На бетонные подушки ставят опорные колонны, возводят в боках выработки опалубку и бетонируют до отметки балок перекрытия. После затвердевания бетона возводят камерные балки и балки перекрытия. Перекрытие бетонируют. Затем производят выемку породы на проектную длину сопряжения и возводят опалубку стен «утюга». Бетонируют «утюг» и стену. После затвердевания бетона укладывают балки перекрытия. В последнюю очередь бетонируют обратный свод. После снятия опалубки производят подбетонку «тощим» бетоном и сооружают водоотливную канавку.

Бетон укладывают с помощью бетоноукладчика БУК-2.

Работы по разделке сопряжения ведет комплексная бригада в составе 15 чел в четыре смены. Продолжительность работы не превышает 9 сут при среднемесячной скорости проведения 284 м<sup>3</sup>.

Наличие геологических нарушений, низкая устойчивость пород, их трещиноватость, слоистость и ползучесть создают значительные трудности при эксплуатации крепи сопряжений горных выработок.

В случае, когда сопряжения капитальных и подготовительных выработок большого сечения проводят в малоустойчивых породах, могут быть применены специальные способы предварительного проведения выработок малого сечения с последующим их расширением до проектной величины, а также упрочнение их химическими составами или стабилизация способом замораживания.

Таким образом, крепление и поддержание сопряжений подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях требуют разработки специальных схем крепления, методов повышения устойчивости вмещающих пород и крепи, индивидуальных паспортов крепления, изготовления большого набора элементов крепи, высокой квалификации специалистов и горнорабочих.

#### 4.4. Повышение эффективности крепления и поддержания сопряжений выработок

Дальнейшее повышение эффективности крепления сопряжений подготовительных и капитальных горных выработок зависит от комплексного решения следующих взаимосвязанных производственных, инженерных и научных задач:

переход на более рациональные и экономичные профили проката из более прочной стали;

оперативное и своевременное определение основных физико-механических характеристик вмещающих пород, необходимых для расчета паспортов выемочного участка, проведения и крепления подземных выработок и прогнозирования характера проявления горного давления в зоне сопряжений;

совершенствование методов обоснования оптимальных параметров крепи сопряжений в разнообразных горно-геологических условиях и схем крепления;

широкое промышленное внедрение современных искусственных химических материалов для упрочнения неустойчивых пород;

снижение стоимости крепи сопряжений за счет создания более совершенных и экономичных унифицированных типовых конструкций;

составление альбомов типовых паспортов крепления сопряжений для всего многообразия горно-геологических и горнотехнических условий;

внедрение более прогрессивных поточных и технологических схем при проведении и креплении сопряжений в различных по сложности горно-геологических условиях;

создание высокопроизводительных машин и механизмов, механизмирующих операции по возведению крепей сопряжений, более широкое применение гидрофицированных крепей сопряжения лав со штреками.

Важнейший принцип конструирования крепей сопряжений горных выработок — равнопрочность узлов и элементов крепи. Несвершенство отдельных узлов крепи не позволяет в полной мере реализовать конструктивные качества крепежных материалов. Так, в существующих арочных крепях подготовительных выработок и их сопряжений необходимо дальнейшее совершенствование соединительного узла податливых элементов.

Недостаточная устойчивость слабых песчано-глинистых пород в зонах сопряжения выработок может быть повышена путем упрочнения их искусственными составами: карбамидной смолой, пенополиуретаном и другими химическими веществами.

Одно из направлений снижения стоимости крепей сопряжений — их унификация и типизация. В этой связи применение в ряде случаев унифицированных несущих элементов крепи сопряжений из железобетона весьма перспективно, причем крепь сопряжений должна быть конструктивно увязана с типовыми крепями подготовительных выработок различного типоразмера.

Разработка более совершенных унифицированных конструкций крепи сопряжений, установление рациональной области их применения, создание типовых паспортов крепления сопряжений для различных горно-геологических и горнотехнических условий разработки угольных месторождений позволят значительно снизить затраты на крепление и поддержание сопряжений подготовительных выработок на шахтах Подмосковского бассейна.

## 5. ПРОВЕДЕНИЕ И КРЕПЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПОСОБОВ

В Подмосковном угольном бассейне при отработке приконтурных участков шахтных полей, строительстве и эксплуатации новых шахт на месторождениях с более сложными горно- и гидрогеологическими условиями особое значение приобретает совершенствование проходческих работ, обеспечивающих своевременное и качественное воспроизводство действующего фронта очистных работ, повышение темпов проведения выработок и производительности труда проходчиков. Одним из путей их совершенствования при разработке и освоении месторождений полезных ископаемых, подземном строительстве в различных областях народного хозяйства в особо сложных условиях является применение эффективных специальных способов сооружения горных выработок.

### 5.1. Общие положения

Предварительное осушение шахтных полей в Подмосковном бассейне позволяет снизить уровни подземных вод и создать благоприятные гидрогеологические условия для проведения капитальных и подготовительных выработок. Однако полностью осушить угольный пласт и вмещающие его породы не всегда удается, и в кровле и почве пласта сохраняются остаточные воды.

Это происходит в случаях, когда:

при наличии карстовых нарушений, древних и современных размывов, непостоянства литологического состава покрывающих горных пород создаются условия для активной взаимосвязи водоносных горизонтов;

месторождение представлено обводненными надугольными мелкозернистыми песками с низкими коэффициентами фильтрации, слабо связанными с подугольными водами известнякового фундамента и плохо осушаемыми средствами глубинного водопонижения;

утонения при размывах угольного пласта, его мульдообразные складки приурочены к обводненным пескам, включающим значительное количество глинистых фракций и приобретающим свойства плывунов.

Осушенные же пески нередко приобретают сыпучие свойства, что значительно затрудняет проведение выработок.

Дальнейшее развитие Подмосковного угольного бассейна связано с освоением месторождений, характеризующихся более

сложными горно- и гидрогеологическими условиями. Анализ строительства шахт «Бельковская», «Владимировская», «Прогресс», «Никулинская» и др. показывает тенденцию значительного увеличения числа выработок, проводимых по породе или с ее подрывкой. Это связано с уменьшением геологической мощности пласта и увеличением площади поперечного сечения горных выработок.

Проведение горных выработок в этих условиях невозможно обычным способом. В Подмосковном бассейне нашли применение при проведении капитальных и подготовительных выработок в особо сложных условиях следующие специальные способы:

- проведение выработок в две фазы;
- с забивной крепью;
- понижение уровня подземных вод из горных выработок;
- проведение выработок под сжатым воздухом;
- замораживание горных пород;
- упрочнение горных пород химическими составами.

Наиболее широкое применение получило проведение профилированных выработок в две фазы. При подходе к геологическому нарушению, когда невозможно оставлять защитную пачку угля в кровле пласта, а над пластом залегают обводненный песок, вначале проводят по углю штрек уменьшенной площади сечения. При этом в кровле оставляют необходимую защитную пачку угля. Из этого штрека ведут осушение песков забивными фильтрами. После того, как кровля будет осушена, производят увеличение выработки до нужных размеров. Применение этого способа возможно только в хорошо фильтрующих песках, требует больших материальных затрат и значительно сдерживает развитие горных работ.

Забивную крепь применяют при проведении выработок по обводненным неустойчивым породам или сыпучим пескам. Этот способ характеризуется большой трудоемкостью, малыми темпами проходки, невозможностью перекрытия геологических нарушений с напорными пльвунами. Поэтому при переходе нарушений большой протяженности этот способ в последнее время находит ограниченное применение.

Понижение уровня подземных вод из горных выработок осуществляется различными схемами ввиду разнообразия гидрогеологических и горнотехнических условий: забивными фильтрами при коэффициенте фильтрации пород более 1 м/сут и напоре воды до 10 м; опережающими скважинами при коэффициенте фильтрации более 0,5 м/сут и напоре воды более 10 м; вакуумированием при коэффициенте фильтрации 0,3—0,5 м/сут.

Этот способ нашел в настоящее время наибольшее распространение в бассейне. Однако область его эффективного приме-

нения ограничивается коэффициентом фильтрации пород не менее 0,5 м/сут.

Проведение горизонтальных выработок под сжатым воздухом в Подмосковном бассейне осуществлялось в небольших объемах и не получило распространения из-за наличия карстовых нарушений вмещающих пород и высокой проницаемости последних, что приводило к большим утечкам сжатого воздуха; невозможности его применения при остаточных столбах воды более 15 м, так как с учетом санитарно-гигиенических факторов избыточное давление воздуха не должно превышать 0,15 МПа; вредного влияния на организм человека.

В последние годы на шахтах бассейна нашли применение такие специальные способы проведения горных выработок, как замораживание горных пород и их упрочнение химическими составами.

Замораживание обводненных неустойчивых горных пород может осуществляться либо с земной поверхности вертикальными или наклонными колонками, либо горизонтальными (слабонаклонными) замораживающими колонками, заложенными из забоя проводимой выработки.

Горизонтальные замораживающие колонки целесообразно применять начиная с глубины заложения выработки более 5 м [34].

В настоящее время способ замораживания является наиболее разработанным, универсальным и надежным. С его применением сооружаются подземные выработки различного назначения в особо сложных гидрогеологических условиях.

В СССР и за рубежом ведутся широкие исследования по упрочнению горных пород химическими составами. Для проведения и поддержания выработок представляет интерес этот специальный способ стабилизации песков и угольного пласта. Если раньше положительные результаты можно было получить при стабилизации хорошо фильтрующих крупнозернистых песков, то достижения отечественной химии в настоящее время открывают возможности упрочнения мелкозернистых песков с коэффициентом фильтрации  $K=0,4-0,5$  м/сут. Этот способ обладает рядом таких достоинств, как небольшой срок производства работ по упрочнению, сохранение массивом своих прочностных и противofильтрационных свойств в течение всего срока службы выработки, мобильность и простота в изготовлении и обслуживании технологического оборудования.

Из новых направлений в специальных способах проведения выработок следует отметить возможность применения электрохимического закрепления пород, иглофилтровых вакуумных установок, жидкого азота для замораживания пород. В связи с тем, что эти работы находятся еще на стадии эксперимента или

не находят широкого применения, сравнение их с другими способами не представляется возможным.

Способы замораживания горизонтальными колонками из забоя проводимой выработки и упрочнение горных пород химическими растворами наиболее надежны и находят все более широкое применение в бассейне.

## **Б.2. Замораживание горных пород с применением автоматизированной подземной передвижной замораживающей установки**

Замораживание горных пород горизонтальными колонками из забоя проводимой выработки сокращает объем буровых и монтажных работ по сравнению с вертикальными колонками, закладываемыми с земной поверхности, а также объем замороженных пород на единицу длины сооружаемой выработки.

При такой схеме заложения замораживающих колонок источник искусственного холода может быть следующий:

1. Стационарная или передвижная замораживающая установка, расположенная на земной поверхности, с подачей хладагента по специально пробуренным скважинам в забой проводимой выработки.

2. Стационарная замораживающая установка, расположенная в специальной камере вблизи забоя проводимой выработки.

3. Подземная передвижная замораживающая установка (ППЗУ), расположенная непосредственно у места производства работ.

Применение способа замораживания с подачей хладагента по специальным скважинам при значительной глубине заложения выработки приводит к потерям холода и увеличению стоимости работ. Использование подземных стационарных замораживающих установок связано с затратой средств и времени на сооружение камер и монтаж оборудования, что резко повышает стоимость спецработ и нецелесообразно при небольших объемах замораживания.

Применение ППЗУ устраняет недостатки вышеуказанных вариантов, а преимуществами последнего являются:

рациональное использование хладопроизводительности;

снижение затрат на оборудование рассолопроводов;

мощность покрывающих пород не влияет на стоимость замораживания;

застроенность земной поверхности и характер ее рельефа не оказывают влияния;

мобильность установки позволяет значительно сократить время и стоимость подготовительно-заключительных операций.

Таким образом, схема подземного замораживания пород горизонтальными или наклонными колонками, заложенными из за-

боя проводимой выработки, с расположением ППЗУ непосредственно у места производства работ является наиболее эффективной.

В Подмосковпом НИУИ выполнены работы по исследованию и совершенствованию способов и средств проведения горизонтальных горных выработок в породах пльвунного типа, в результате чего созданы и внедрены автоматизированные подземные передвижные замораживающие установки (АПЗУ), определены основные параметры и отработана технология подземного замораживания пород.

Разработанные технология и средства замораживания пород внедрены при проведении подземных горных выработок в особо сложных гидрогеологических условиях шахт Подмосковского, Печорского и Донецкого угольных бассейнов нашей страны и за рубежом (в ЧССР).

Проведение горных выработок в несвязанных породах с использованием АПЗУ заключается в последовательном выполнении следующих основных операций: инженерно-геологические изыскания; бурение замораживающих скважин с одновременной их обсадкой металлическими трубами (для сохранения скважины и предотвращения выпуска пород пльвунного типа в горную выработку); монтаж замораживающих колонок, рассольной сети и АПЗУ; активное замораживание с целью стабилизации неустойчивых пород и образования вокруг будущей выработки защитного ледопородного ограждения; проходка и крепление выработки в замороженных породах при работе АПЗУ (в случае необходимости) в режиме пассивного замораживания для поддержания ледопородного ограждения в проектных параметрах.

Инженерно-геологические изыскания выполняются в процессе подготовки исходных данных для проектирования всего комплекса специальных работ и должны содержать сведения, характеризующие горно- и гидрогеологические условия сложного участка, в том числе наличие фильтрационного потока подземных вод, литологический и гранулометрический составы пересекаемых пород, их мощность, плотность, пористость, влагоемкость, коэффициент фильтрации и теплофизические параметры.

При отсутствии таких данных в забое сооружается гидрогеологический куст из семи скважин: одна вертикальная и шесть наклонных, которые в плане образуют несколько равносторонних треугольников Тима и дают возможность определить наличие и скорость фильтрационного потока со всех сторон к исследуемому участку (рис. 5.1). Углы наклона устья скважин берутся из расчета превышения забоя скважины над кровлей выработки на 2 м с прибавлением  $3^\circ$  на возможное искривление ее при бурении с одновременной обсадкой фильтровой колонкой. Длина перфорации всех скважин принимается равной 1 м. При неустойчивых водоносных породах, склонных к оплыванию, или пльвунного

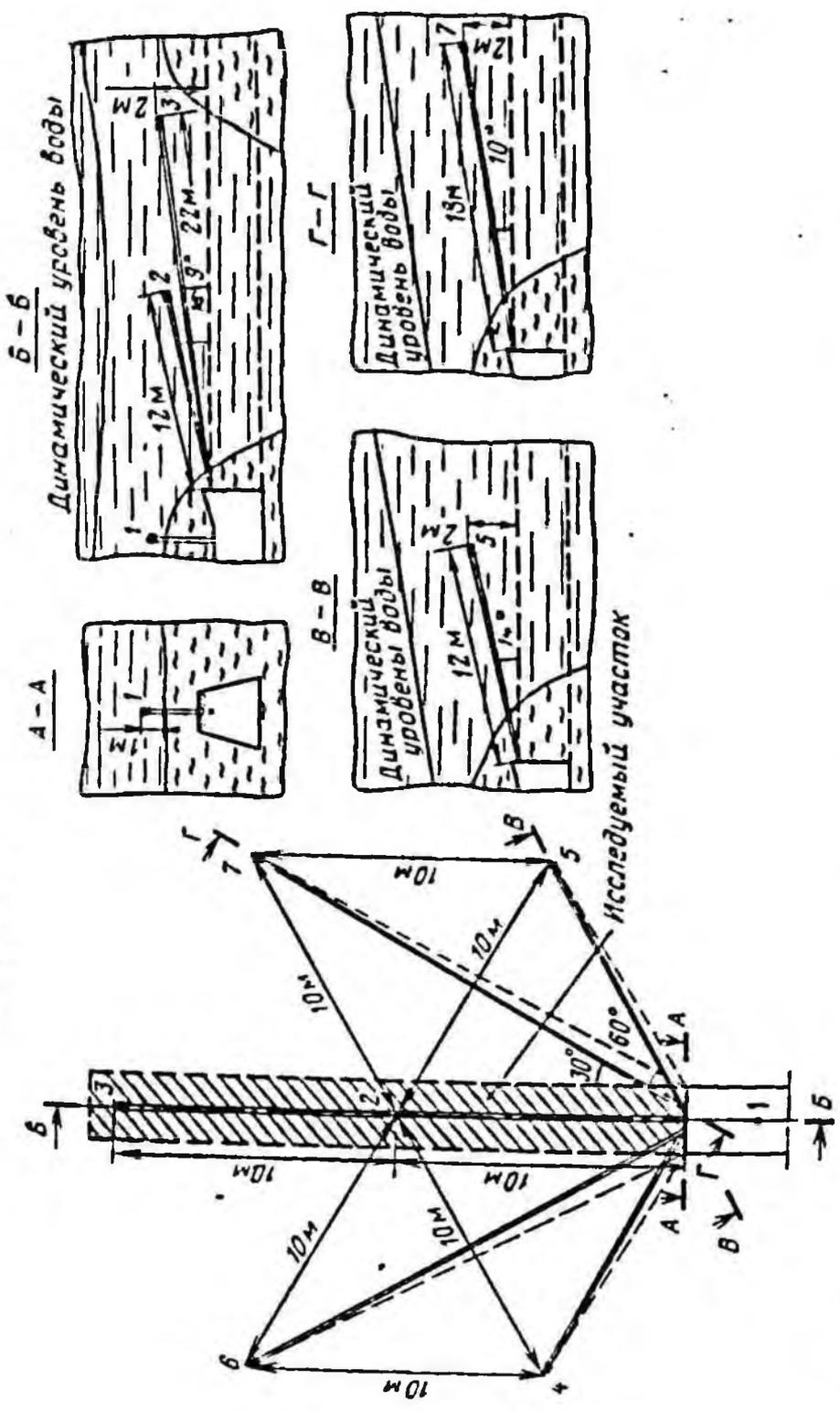


Рис. 5.1. Схема гидрогеологического куста скважин для определения фильтрационных свойств водовмещающих пород и скорости фильтрационного потока:  
 1 — вертикальная гидрогеологическая скважина; 2-7 — наклонные гидрогеологические скважины

типа сооружение скважины осуществляется при помощи бурового наконечника типа «рыбий хвост», приваренного к концу фильтровой колонны.

После вскрытия водоносного горизонта каждой скважиной отбирается проба пород для производства лабораторного анализа их плотности, пористости, влагоемкости, коэффициента фильтрации, гранулометрического состава, а также теплофизических параметров. Затем в скважину устанавливают забивной фильтр и спустя 1 ч замеряют ее дебит манометром, установленным в устье скважины, и величину напора. Кроме этого, отбирается проба воды и определяется ее температура и химический состав. Аналогичные замеры производят на каждой новой скважине с получением промежуточных значений напоров и дебитов предыдущих скважин.

По данным гидрогеологических скважин получают значения первоначальных напоров и дебитов воды, а также их промежуточные значения, с использованием которых строится карта гидрозогипс участка. По этой карте определяются основное направление фильтрационного потока и его гидравлический уклон, а также гидравлические уклоны по боковым направлениям.

Помимо значений коэффициента фильтрации песков, полученных в лабораторных условиях, для большей достоверности его определяют и расчетным путем по формуле

$$K = Q/H^2, \quad (5.1)$$

где  $Q$  — начальный дебит скважины, м<sup>3</sup>/ч;  $H$  — начальный напор воды в скважине, м.

Затем находят коэффициент водоотдачи пород по формуле Д. Велева:

$$\mu = 0,117 \sqrt[3]{K}. \quad (5.2)$$

В результате лабораторных анализов и расчетов получаем 7 значений пористости и от 14 до 36 значений коэффициентов фильтрации, из которых выводятся их средние арифметические значения или принимаются преобладающие.

Действительная скорость фильтрационного потока (м/сут) при полученных значениях гидравлического уклона  $I$ , пористости  $n$  и коэффициента фильтрации  $K$  определяется при горизонтальном или наклонном залегании водоупора соответственно по формулам:

$$U_r = KI/n, \quad (5.3)$$

$$U_n = K(I+i)/n, \quad (5.4)$$

где  $i$  — уклон водоупора.

Если по каким-либо причинам не удастся отобрать пробы песка или провести лабораторный анализ его пористости, то для

получения ее ориентировочного значения достаточно взять удвоенное значение коэффициента водоотдачи, определенное по формуле (5.2).

Дополнительную скорость фильтрационного потока (м/сут), которая возникает при бурении замораживающих или инъекционных скважин, определяют по формуле

$$U_1 = KIII / (R_t m), \quad (5.5)$$

где  $R_t$  — радиус влияния замораживающих или инъекционных скважин, м, определяемый путем подбора из равенства

$$R_t^2 \lg R_t = 2,6 KIII / \mu, \quad (5.6)$$

где  $t$  — время начала буровых работ до момента замораживания, сут.

Расчетная скорость фильтрационного потока будет равна сумме скоростей, полученных по данным гидрогеологических и замораживающих (инъекционных) скважин.

Инженерно-геологические изыскания должны предусматривать изучение причин и источников возникновения или увеличения скорости фильтрации подземных вод на сложном участке (близлежащие горные выработки, водопонижительные скважины, забитые фильтры и другие водоотливные средства), а также наличие наземных сооружений, подлежащих охране от влияния горных работ. По возможности необходимо принимать меры по устранению фильтрационного потока или уменьшению его скорости до 0,1—0,2 м/сут, при которой его отрицательное влияние на процессе подземного замораживания сказывается не столь существенно. В противном случае применяются методы проектирования процесса замораживания в условиях фильтрационного потока и полученные технико-экономические показатели сравнивают с соответствующими показателями применения способа искусственного водопонижения для этих же условий.

Определение теплофизических свойств горных пород, подлежащих замораживанию, производят в лабораторных условиях по специальным методикам. Возможно получение их расчетным путем или по данным, определенным в аналогичных горно- и гидрогеологических условиях и приведенным в специальной литературе.

Проектирование основных технологических параметров процесса замораживания пород. Искусственное замораживание пород применяется с целью образования временного ледопородного ограждения для проходки и крепления сложного участка горной выработки постоянной крепью.

При этом необходимо обеспечить:

водонепроницаемость и прочность ледопородного ограждения, достаточные для восприятия внешней нагрузки — горного и гидростатического давления;

сохранность направления и поперечного сечения выработки, а также прилегающих к ней подземных и находившихся в зоне ее влияния наземных сооружений;

высокие технико-экономические показатели выбранной технологической схемы в конкретных горнотехнических и гидрогеологических условиях;

безопасность труда при выполнении всех работ.

Проект искусственного замораживания пород при проведении сложного участка горной выработки разрабатывается на основании материалов инженерно-геологических изысканий и должен содержать:

пояснительную записку и расчет основных технологических параметров процесса замораживания пород;

выкопировку с плана горных работ с нанесением сложного участка выработки;

подробный геологический разрез по оси выработки с характеристикой пересекаемых пород, уровнями и притоками (скоростями) подземных вод;

чертежи, отражающие фактическое состояние призабойной части выработки на участке 15—20 м;

паспорт крепления призабойной части выработки с учетом необходимости заложения замораживающих скважин;

чертеж конструкции и схему заложения замораживающих колонок с нанесением проектных размеров ледопородного ограждения;

схему расположения АПЗУ с нанесением источников водо- и энергоснабжения и с отображением ее на схеме электроснабжения участка;

паспорт крепления выработки в замороженных породах;

график организации работ;

список необходимых материалов и оборудования;

смету затрат на выполнение работ.

По результатам инженерно-геологических изысканий решается вопрос о длине сложного участка и числе заходов замораживания, схеме расположения замораживающих колонок, организации специальных работ, проведении и креплении выработки.

Максимальная длина одной заходки замораживания определяется технической возможностью средств бурения скважин, сечением выработки, схемой заложения замораживающих колонок и фактической хладопроизводительностью АПЗУ в конкретных горнотехнических и гидрогеологических условиях.

Главными критериями выбора той или иной модели АПЗУ являются проектная боковая поверхность замораживающих колонок и средний удельный тепловой поток к ним за время активного замораживания, по величине которых рассчитывается необходимая хладопроизводительность. Возможно применение одновременно двух или нескольких АПЗУ.

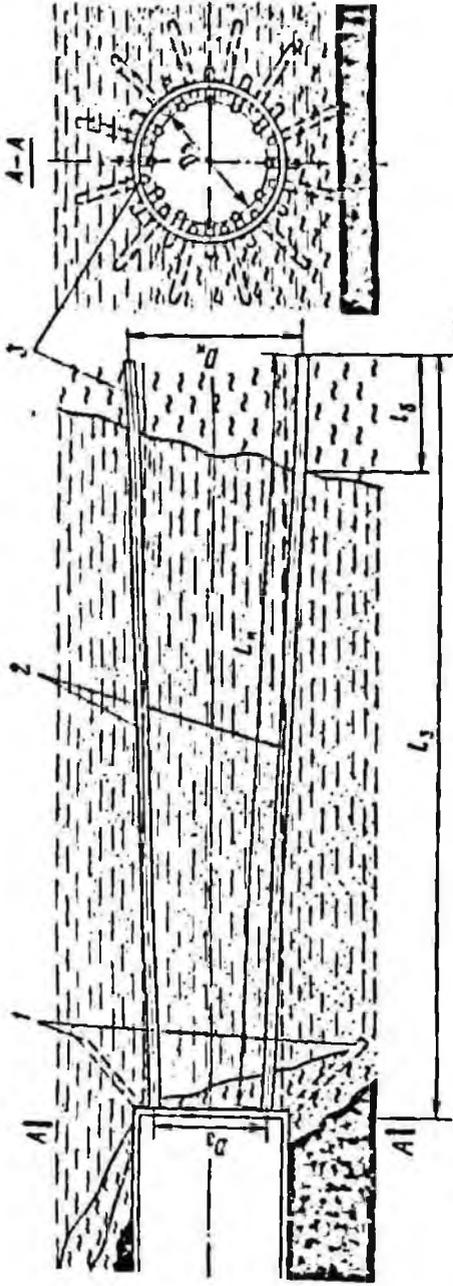


Рис. 5.2. Схема заложения замораживающих колонок в сечении проводимой выработки:

1 — дополнительные замораживающие колонки; 2 — основные замораживающие колонки; 3 — контур выработки в свету;  $L_3$  — длина заходки замораживания;  $L_n$  — длина замораживающей колонки;  $D_n$  — начальный диаметр заложения замораживающих колонок;  $D_n$  — конечный диаметр заложения замораживающих колонок;  $l_8$  — заглубление колонок в устойчивые породы

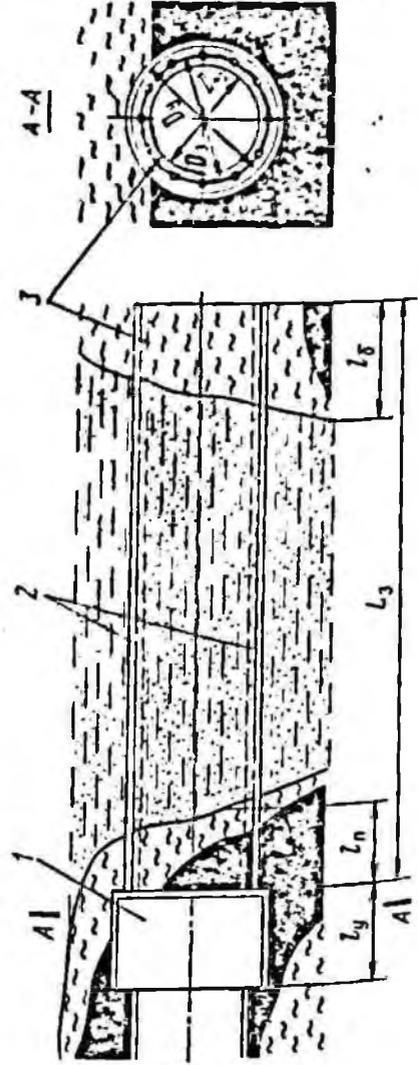


Рис. 5.3. Схема заложения замораживающих колонок вне контура проводимой выработки:

1 — буровая камера; 2 — замораживающие колонки; 3 — контур выработки в свету;  $l_y$  — длина уширения выработки под буровую камеру;  $l_n$  — длина целника устойчивых пород перед буровой камерой;  $D_y$  — диаметр уширения выработки под буровую камеру;  $D_{пр}$  — диаметр выработки в проходке

Максимальная глубина заложения горизонтальных замораживающих колонок в породах пльвунного типа по данным практики на шахтах Подмосковного бассейна составляет 32—35 м. Технические возможности новых средств и методов бурения позволят в ближайшие годы довести длину одной заходки замораживания до 40—50 м.

Расположение замораживающих колонок возможно как в сечении проводимой выработки, так и за контуром ее. Схемы этих вариантов показаны на рис. 5.2 и 5.3.

Преимуществом первой схемы является исключение затрат на уширение выработки под буровую камеру. К недостаткам же следует отнести:

- необходимость заложения дополнительных замораживающих колонок;

- увеличение срока активного замораживания в связи с необходимостью создания ледопородного ограждения большей толщины во внешнем направлении от контура расположения колонок;

- более интенсивное промораживание внутренней части ледопородного ограждения;

- необходимость удалять трубы замораживающих колонок в процессе проходки;

- невозможность применения во всех случаях пассивного замораживания (АПЗУ работает определенное время для поддержания ледопородного ограждения в проектных параметрах).

Эта схема применяется при невозможности сооружения буровой камеры вблизи забоя или при небольшой длине сложного участка, когда отмеченные недостатки не имеют существенного значения.

Во второй схеме эти недостатки устраняются и затраты на сооружение буровой камеры компенсируются за счет точного заложения замораживающих колонок и повышения производительности на отбойке замороженных пород (отсутствие работ по ликвидации колонок в сечении выработки).

Многостадийное замораживание. При невозможности проведения участка выработки со сложными гидрогеологическими условиями одной заходкой замораживания оно осуществляется в две или несколько стадий. Схема такого варианта показана на рис. 5.4.

Исходя из необходимости сооружения буровой камеры очередной заходки под защитой замороженных пород, замораживающие скважины предыдущей необходимо бурить под некоторым углом  $\alpha$  относительно оси выработки. Он определяется графическим путем из расчета оптимального заложения замораживающих колонок относительно контура проектной буровой камеры.

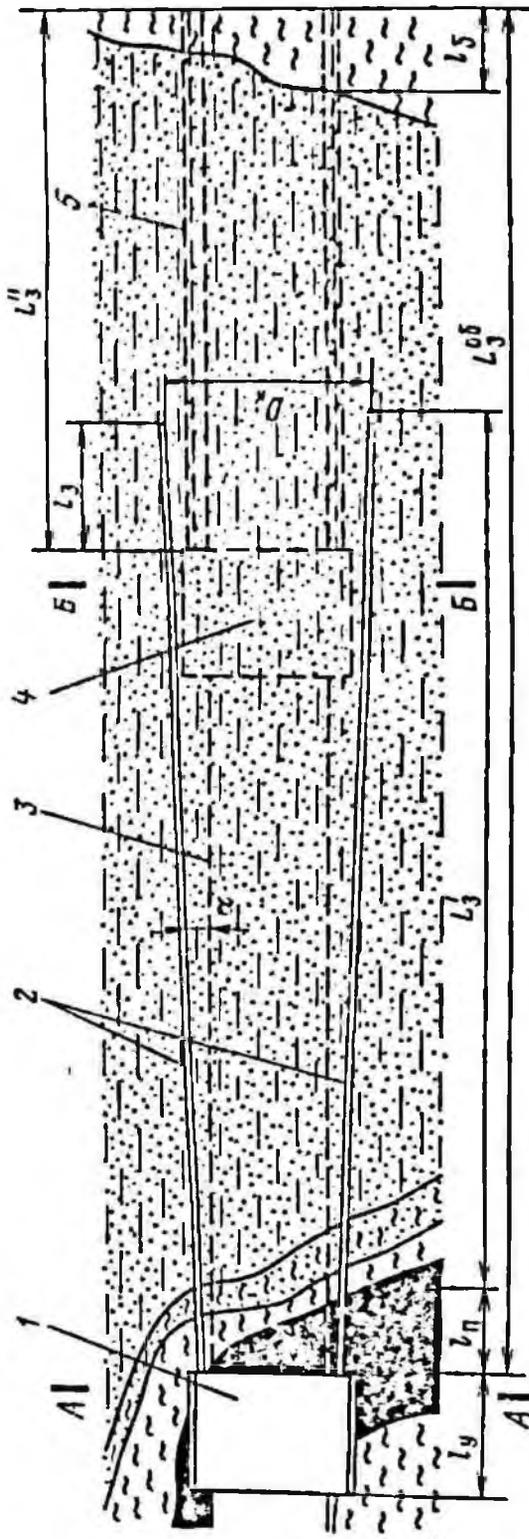
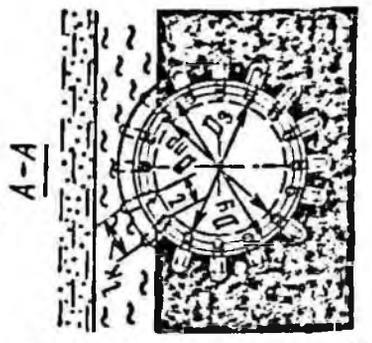
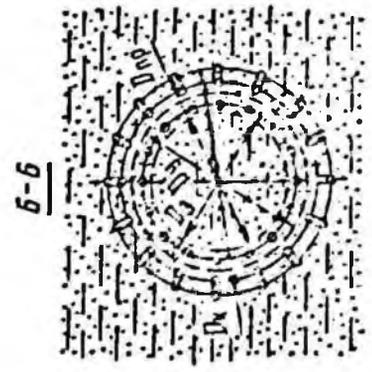


Рис. 5.4. Схема заложения замораживающих колонок при многостадийном замораживании:  
 1 — буровая камера; 2 — замораживающие колонки; 3 — кон-  
 тур выработки в свету; 4 — буровая камера следующей за-  
 ходки замораживания; 5 — замораживающая колонка сле-  
 дующей заходки замораживания;  $L_1$ ,  $L_2$  — длина заморажи-  
 вающего участка;  $L_1'$  — длина первой заходки заморажи-  
 вания;  $L_2'$  — длина второй заходки замораживания;  $L_3$  — до-  
 породная подушка на стыке заходок замораживания;  $L_4$  — рас-  
 стояние между замораживающими колонками;  $L_5$  — кониче-  
 ское расстояние между замораживающими колонками;  $\alpha$  —  
 угол наклона замораживающих колонок



Когда по горнотехническим или организационным причинам колонки или их часть закладываются в сечении выработки и при проходке их приходится ликвидировать, то становится невозможным вести пассивное замораживание. Для применения пассивного замораживания в таких условиях существует следующий вариант технологических схем замораживания, использованный на шахте «Львовская».

Сложный участок проходится в две фазы. Первоначально сечение выработки первой фазы вписывается в контур расположения устьев замораживающих колонок, крепление осуществляется неполным дверным окладом с затяжкой кровли и бортов выработки. После ухода колонок за проектный контур выработки в проходке (при веерообразном их расположении) выработка проходится на полное сечение с установкой постоянной крепи. По окончании проходки сложного участка обратным ходом производят перекрепление 8—10 м выработки до проектного сечения, с вырезкой (отключением) замораживающих колонок. Таким образом, большую часть времени проходка ведется с применением пассивного замораживания.

Исследования Подмосковского НИУИ в области замораживания пород плавунного типа горизонтальными колонками с использованием АПЗУ и анализ опыта применения этого специального способа на угольных шахтах показывают, что в проектировании и расчете процесса создания ледопородного ограждения вокруг горизонтальной горной выработки имеется ряд специфических особенностей.

В практике проектирования замораживания пород при сооружении шахтных стволов ледопородное ограждение представляют в форме правильного цилиндра с теплопритоком к боковой поверхности. Теплоприток к его торцу (со стороны земной поверхности) во внимание не принимается. Однако при подземном замораживании теплоприток к забою горной выработки может оказывать существенное влияние на процесс формирования горизонтального ледопородного ограждения и неучет его может привести к нежелательным результатам.

Так, при проведении сложных участков на шахтах «Нелидовская» и «Смирновская» с заложением колонок из забоя выработки после окончания проектного срока замораживания в начале проходки произошли прорывы обводненных пород.

Из анализа причин осложнений выяснилось, что на первых 1,5—2 м толщина ледопородного ограждения была меньше проектной и недостаточной для восприятия горного и гидростатического давления.

С целью определения качественных и количественных характеристик влияния теплопритока на торец горизонтального ледопородного ограждения проводили исследования методами физи-

ческого моделирования с соблюдением необходимых критериев подобия (геометрического, гидромеханического, теплового и краевого) и натурные наблюдения в шахтных условиях.

Анализ результатов физического моделирования показал, что за счет влияния теплопритока к торцу горизонтального ледопородного ограждения происходит неравномерное нарастание его по длине. Толщина ледопородного ограждения в наиболее опасном сечении (у забоя) составляла лишь 70% его проектного значения при наименее благоприятном (температура рассола  $-15^{\circ}\text{C}$  и температура среды  $+20^{\circ}\text{C}$ ) и 92% при наиболее благоприятном (температура рассола  $-30^{\circ}\text{C}$  и температура среды  $+6,5^{\circ}\text{C}$ ) режимах замораживания.

Тепловое влияние на рост ледопородного ограждения прослеживалось при вышеприведенных режимах соответственно на глубину 2,5 и 1,8 м (при пересчете на натуру).

Следует отметить, что данные результаты получены при отсутствии фильтрации пластовой воды. В натуральных же условиях в зоне забоя, как правило, наблюдается повышенная ее фильтрация, что приводит к худшему смыканию ледопородных тел отдельных колонок. Шахтные исследования подтвердили качественную сторону физического моделирования, а количественные показатели ухудшились на 15—20%.

Проведенные исследования позволили рекомендовать меры, необходимые для ликвидации неравномерности толщины горизонтального ледопородного ограждения:

1. При заложении замораживающих колонок в сечении выработки по ее периметру (в зоне неустойчивых пород) необходимы дополнительные колонки под углом  $25-30^{\circ}$  относительно направления основных. Длина их должна превышать зону теплового влияния не менее чем на 0,5 м. В условиях шахт Подмосквового бассейна длина дополнительных колонок составляет 3—4 м.

2. При заложении колонок вне контура выработки в проходке уширение под буровую камеру необходимо располагать на расстоянии от забоя, большем или равном зоне теплового влияния.

Применение этих рекомендаций позволило избежать осложнений при аналогичных обстоятельствах на последующих проходах сложных участков.

При многостадийном замораживании необходимо, чтобы на стыке заходок создавался сплошной массив замороженных пород, предотвращающий выпуск водоносных неустойчивых пород в горную выработку.

В практике подземного замораживания для этих целей применяют дополнительные замораживающие колонки, закладываемые либо в поперечном сечении проводимой выработки, либо барьерные на границах заходок, пробуриваемые вертикально с земной поверхности. Такое решение проблемы приводит к зна-

чительным дополнительным затратам, снижению темпов проходки из-за паличия в сечении выработки замораживающих колонок.

Одним из критериев, предопределяющих такие рекомендации, явилось положение, перенесенное из практики замораживания пород при проходке вертикальных стволов, о том, что соотношение частей толщины ледопородного ограждения, измеряемых от кольца расположения колонок до внешней и внутренней границ, составляет 0,4 : 0,6. То есть средние скорости замораживания во внешнюю область и в сторону ядра различны и их соотношение составляет соответственно 1 : 1,5.

Исследованиями Г. И. Маньковского установлено, что диаметр расположения замораживающих колонок на общую толщину ледопородного ограждения существенного влияния не оказывает, однако изменяет соотношение частей его толщины. При диаметрах этого кольца, меньших 14 м, обычно принимаемое соотношение 1 : 1,5, нарушается, увеличиваясь в отдельных случаях до 1 : 2.

При замораживании горизонтальными колонками в подземных условиях, учитывая технологические трудности их заложения на достаточно большом удалении от контура выработки в проходке, в качестве ледопородного ограждения вынуждены использовать в основном внешнюю часть замороженного массива от кольца колонок. Геометрические параметры горизонтального ледопородного ограждения показаны на рис. 5.5.

Характерные для условий Подмосковского угольного бассейна размеры горизонтальных и наклонных выработок, проектная толщина ледопородного ограждения и вышеприведенное соотношение ее частей предопределяют возможность полного промораживания ядра выработки. Проведенные исследования позволили получить условие образования сплошного замороженного массива при данной технологии:

$$D_{\text{пр}} \leq 4E - 6E_{\text{в}}, \quad (5.7)$$

где  $D_{\text{пр}}$  — диаметр горной выработки в проходке, м;  $E$  — толщина ледопородного ограждения, м;  $E_{\text{в}}$  — толщина внутренней части ледопородного ограждения от линии расположения замораживающих колонок, м. При проведении горизонтальных выработок в Подмосковном бассейне ее значение принимается равным 0,15 м.

Величина целлика устойчивых пород перед буровой камерой  $l_{\text{п}}$  и необходимая толщина ледопородной подушки  $l_{\text{з}}$  (м) на стыке заходок определяются статическим расчетом по рекомендациям Н. Г. Трупака [34].

$$l_{\text{п,з}} = \frac{R_{\text{пр}q}}{2[\sigma_{\text{ср}}]}. \quad (5.8)$$

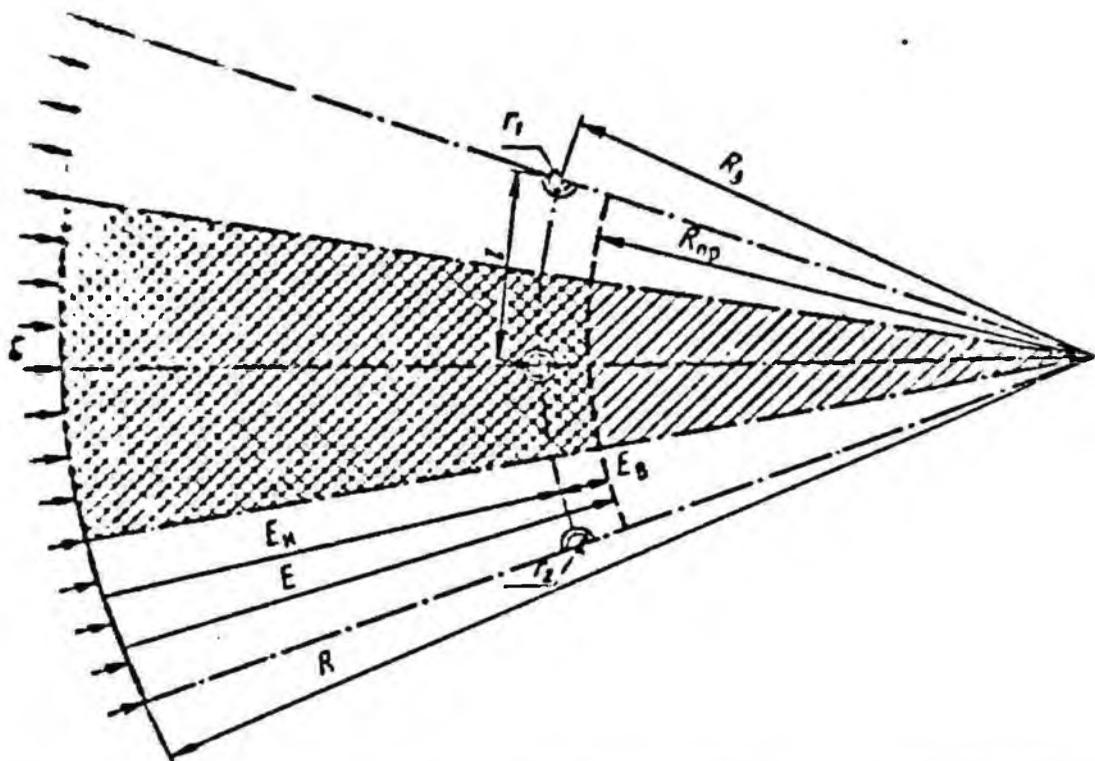


Рис. 55. Геометрические параметры горизонтального ледопородного ограждения:

$R$  — радиус ледопородного ограждения;  $R_3$  — радиус заложения замораживающих колонок;  $R_{пр}$  — радиус выработки в проходке;  $Q$  — тепловой поток от незамороженных пород;  $E$  — расчетная толщина ледопородного ограждения;  $E_n$  — наружная часть ледопородного ограждения,  $E_b$  — внутренняя часть ледопородного ограждения;  $r_1, r_2$  — соответственно внутренний и внешний радиус замораживающей колонки

где  $R_{пр}$  — радиус выработки в проходке, м;  $q$  — ожидаемое горное и гидростатическое давление на крепь сложного участка, МПа;  $[\sigma_{ср}]$  — допускаемое напряжение пород при срезе, МПа. Для мерзлых песчано-глинистых пород его значение принимают в пределах 0,3—0,5 МПа.

Замораживающие колонки должны перекрывать сложный участок выработки  $L_n$  на глубину  $l_0 \geq l_{п.з.}$ , но не меньшую чем 2 м при заглублении в устойчивые породы и 3 м при многостадийной проходке.

Процессы активного и пассивного замораживания пород неразрывно связаны с теплопритоком от незамороженных пород к границе ледопородного ограждения, на формирование и сохранность которого теплоприток может влиять существенно.

Земной теплоприток к горизонтальному ледопородному ограждению подсчитывается в долях  $\psi$  от объемной энтальпии пород  $\rho$ . Коэффициент  $\psi_T$ , учитывающий земной теплоприток при образовании кольцевого ледопородного ограждения, в общем виде можно записать как

$$\psi_T = 1 + \psi_2 + \psi_k, \quad (5.9)$$

где  $\psi_2$  и  $\psi_k$  — коэффициенты, учитывающие земной теплоприток соответственно к внешней и внутренней поверхности кольцевого ледопородного ограждения.

Но в связи с тем, что при применении данной технологии в представительных условиях шахт Подмосковского бассейна ( $D_{пр} = 3 \div 5,2$  м,  $E \leq 2$  м) практически всегда ядро выработки промораживается, а тепло, заключенное в его породе, учитывается энтальпией пород  $\rho$ , то  $\psi_k = 0$ .

С учетом этого фактора и принятой геометрии горизонтального ледопородного ограждения поправочный коэффициент, учитывающий земной теплоприток от незамороженных пород можно определить по формуле

$$\psi_T = \frac{19(T_r - T_0)(R_{пр} + E)}{R_3} \sqrt{\frac{1}{\rho(T_0 - T_p)} \ln \frac{l}{d_1}}, \quad (5.10)$$

где  $T_r$  — начальная температура горных пород, К;  $T_0$  — температура замерзания пластовой воды, К;  $T_p$  — температура хладоносителя (рассола), К;  $R_3$  — радиус заложения замораживающих колонок, м;  $l$  — расстояние между замораживающими колонками, м;  $d_1$  — внутренний диаметр замораживающей колонки, м;  $\rho$  — энтальпия замораживаемых пород, кДж/м<sup>3</sup>.

Ледопородное ограждение вокруг выработки является ответственным инженерным сооружением, задача которого состоит в том, чтобы защищать рабочее пространство подготовительного забоя от прорыва обводненных горных пород до возведения постоянной крепи. При проведении горизонтальной выработки в обводненных неустойчивых породах, когда горное давление приближается к гидростатическому, предпочтительнее принимать круговую форму поперечного сечения крепи.

Если рассматривать ледопородный цилиндр, создаваемый вокруг горизонтальной горной выработки, как жесткую кольцевую крепь, то толщина горизонтального ледопородного ограждения может быть рассчитана с помощью методов, используемых при проектировании тоннельных обделок и в частности метода расчета тоннельных обделок С. С. Давыдова, но с учетом свойств замороженных пород.

Под действием горного давления при проходке на внутренней поверхности ледопородного цилиндра появляется зона пластических деформаций. До тех пор, пока она не достигнет наружной поверхности, ледопородное ограждение не теряет несущей способности, но при этом деформации могут принять недопустимые по технологическим соображениям значения. Стадия деформации зависит от величины и времени действия нагрузки и физико-механических свойств пород.

Ледопородное ограждение рассматривается как цилиндрическая конструкция с расчетным радиусом  $r$ , состоящая из однородного материала и имеющая постоянную жесткость. В качест-

ве внешней нагрузки учитывается вертикальное равномерно распределенное горное давление  $q$  и боковое давление, распределенное по закону квадратной параболы с максимальным значением на горизонтальном диаметре ледопородного кольца  $c_0$ . Вертикальное горное давление уравнивается отпором пород снизу.

Анализ полученных расчетных усилий в ледопородном ограждении от внешних нагрузок показывает, что наиболее опасные усилия возникают в четверти свода  $\varphi = \pi/4$  и определяются по формулам

$$M_{\pi/4} = qr^2/96, \quad (5.11)$$

$$N_{\pi/4} = 0,5qr + 0,42c_0r, \quad (5.12)$$

где  $M$  — изгибающий момент, кН·м;  $N$  — продольная сила, кН;  $r$  — расчетный радиус;

$$r = R_{np} + 0,5E. \quad (5.13)$$

В водоносных неустойчивых породах (пльвунного типа) боковое горное давление с достаточной точностью можно принять равным вертикальному, т. е.  $e_0 \approx q$ .

В замороженных породах в характерных сечениях ледопородного ограждения возникают нормальные и касательные напряжения. Последние, как показал анализ, весьма незначительны и поэтому расчет толщины ледопородного ограждения следует вести только по нормальным напряжениям, величину которых можно определить по формуле

$$[\sigma_{сж.дл}] = \frac{N}{F} + \frac{M}{W}, \quad (5.14)$$

где  $[\sigma_{сж.дл}]$  — допускаемое длительное напряжение замороженной породы на одноосное сжатие, МПа;  $F$  — площадь поперечного сечения ледопородного ограждения на длине 1 м, м<sup>2</sup>;  $W$  — момент сопротивления, равный на длине 1 м  $E^2/6$ , м<sup>3</sup>.

Подставляя в формулу (5.14) значения входящих в него параметров, получим

$$[\sigma_{сж.дл}] = \frac{0,92(R_{np} + 0,5E)}{E} + \frac{q(R_{np} + 0,5E)^2}{16E^2}. \quad (5.15)$$

Решая равенство (5.15) относительно  $E$ , получим

$$E = \frac{7,86qR_{np} + \sqrt{61,78q^2R_{np}^2 + (16[\sigma_{сж.дл}] - 7,61q)qR_{np}^2}}{16[\sigma_{сж.дл}] - 7,61q}, \quad (5.16)$$

Формула (5.16) позволяет с достаточной точностью установить необходимую толщину ледопородного ограждения (при длине заходки 1 м) в зависимости от горного давления, размеров сооружаемой выработки и прочностных характеристик заморо-

женных пород, которые следует определять по результатам лабораторных исследований образцов или по номограммам П. М. Тютюника. Для их определения ориентировочное значение среднеинтегральной температуры в кольцевом ледопородном ограждении можно получить по эмпирической формуле

$$t_{\text{ср}} = (0,35 \div 0,4) t_p, \quad (5.17)$$

где  $t_p$  — ожидаемая средневзвешенная температура прямого хладоносителя (рассола), °С.

Для характерных неустойчивых водоносных пород Подмосковского угольного бассейна, подлежащих замораживанию и представленных в основном мелкозернистыми глинистыми песками, допускаемый предел длительной прочности на одноосное сжатие  $[\sigma_{\text{сж.дл}}] = 1,4$  МПа.

Исследованиями установлено, что горное давление на сложных участках при проведении горизонтальных выработок в бассейне  $q = 0,3 \div 0,8$  МПа. При вышеприведенных характерных параметрах проходки необходимая толщина ледопородного ограждения  $E = 0,7 \div 2$  м. Наиболее часто встречаемая в практике подземного замораживания толщина составляет 1 м.

Время активного замораживания (ч), необходимое для образования горизонтального кольцевого ледопородного ограждения проектной толщины (см. рис. 5.5), определяется по формуле

$$\tau_a = \frac{0,046\rho l^2}{(T_o - T_p)\lambda_1} \ln \frac{l}{d_1} + \frac{0,33\rho}{N(T_o - T_p)\lambda_1} \left\{ 0,5E_n \left[ (2R_3 + E) \ln \frac{E_n}{r_1} - R_3 \right] - R_3 l \left( \ln \frac{l}{d_1} - 0,125 \right) + \frac{R_3}{2} \left( \ln \frac{R_3}{r_1} + \frac{R_3}{2} \right) \right\}, \quad (5.18)$$

где  $l$  — расстояние между замораживающими колонками, м;  $E_n$  — толщина наружной части ледопородного ограждения;  $r_1$  — внутренний радиус замораживающей колонки, м;  $N$  — число замораживающих колонок;  $\lambda_1$  — теплопроводность замороженных пород. Для неустойчивых песчано-глинистых пород типа подмосковных  $\lambda_1$  можно принимать в пределах 2,32—2,67 Вт/(м·К).

Общее время пассивного замораживания, необходимое для поддержания ледопородного ограждения в проектных параметрах,

$$\tau_n = L_{\text{пр}} / V_{\text{пр}}, \quad (5.19)$$

где  $\tau_n$  — время пассивного замораживания, сут;  $L_{\text{пр}}$  — длина проходки по сложному участку, м;  $V_{\text{пр}}$  — скорость проходки по замороженным породам, м/сут.

Моделирование и шахтные эксперименты процесса оттаивания горизонтального кольцевого ледопородного ограждения показали, что время наступления теплового равновесия на его гра-

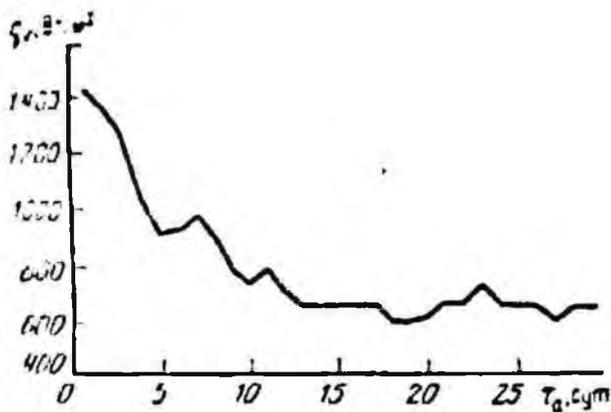


Рис. 5.6. График изменения поверхностной плотности теплового потока к колонке  $q_1$  во времени  $\tau_a$  при замораживании пород

нице (после чего начинается таяние) для условий Подмосквовного бассейна составляет около 10 сут. Поэтому при условии, когда время проходки сложного участка не превышает этого срока, пассивное замораживание необязательно, так как ледопородное ограждение сохраняет свои прочностные свойства в достаточной мере. В противном случае суточное время работы АПЗУ в режиме пассивного замораживания (ч)

$$\tau_n = \frac{102,9(T_r - T_0) \sqrt{\lambda_2 C_2 \gamma_2 \tau_a}}{\psi_1 \rho (R_{np} + E)} \quad (5.20)$$

где  $\lambda_2$  — теплопроводность талых пород, Вт/(м·К);  $C_2$  — удельная теплоемкость талых пород, кДж/(кг·К);  $\gamma_2$  — плотность талых пород, кг/м<sup>3</sup>.

Одним из основных параметров в технике замораживания пород является поверхностная плотность теплового потока  $q_1$  к замораживающей колонке, по средней величине которого рассчитывают теплопоглощающую способность замораживающих колонок и требуемую хладопроизводительность замораживающей станции.

В практических расчетах среднюю плотность теплового потока за все время активного замораживания рекомендовалось принимать в пределах 233—291 Вт/м<sup>2</sup> при  $T_p = 253 \div 248$  К [22, 34]. Однако анализ первых же результатов замораживания пород горизонтальными колонками с использованием АПЗУ на шахтах Подмосквовного бассейна показал, что эта величина является заниженной.

На рис. 5.6 представлено изменение плотности теплового потока, зарегистрированного при замораживании пород во 2-м главном вентиляционном штреке шахты «Нелидовская». Из графика видно, что в первый день активного замораживания значение плотности теплового потока составляло 1435 Вт/м<sup>2</sup>. При этом перепад температур между прямым и обратным хладоносителем (рассолом) составил 2,2 К; с течением времени он уменьшался, стабилизовавшись до 1—0,9 К через 13 сут после начала замораживания. Вследствие этого уменьшилась и плотность теп-

лового потока к замораживающим колонкам, достигнув 587—652 Вт/м<sup>2</sup>.

Такая динамика плотности теплового потока характерна не только для замораживания горизонтальными колонками, но вообще для процесса замораживания, так как по мере роста ледопородного ограждения увеличивается его термическое сопротивление, а  $q_f$  соответственно уменьшается. Таким образом, его качественная характеристика во всех случаях остается неизменной, отличие состоит лишь в количественной оценке.

В результате, проведенных исследований получена формула, позволяющая определять среднее значение плотности теплового потока к горизонтальной замораживающей колонке за все время активного замораживания (Вт/м<sup>2</sup>):

$$q_f = \frac{\psi_T \rho l (R_{np} + E)^2}{3,6\pi D_3 d_1 \tau_a}, \quad (5.21)$$

где  $D_3$  — диаметр расположения замораживающих колонок, м.

Анализ формулы (5.21) показывает, что значение  $q_f$  для подземного замораживания в условиях Подмосковского угольного бассейна при  $\tau_a = 20 \div 30$  сут составляет 350—815 Вт/м<sup>2</sup>.

В табл. 5.1 представлены результаты шахтных экспериментальных исследований плотности теплового потока к горизонтальной замораживающей колонке в сравнении с расчетными его значениями, полученными по формуле (5.21).

Анализ табл. 5.1 показывает, что экспериментальное среднее значение плотности теплового потока к горизонтальной замораживающей колонке за время активного замораживания изменялось от 407 до 783,3 Вт/м<sup>2</sup>. Наименьшие его значения получены на более протяженных заходках с большим сроком замораживания, а наибольшие — на коротких заходках с меньшим сроком замораживания.

Полученные в результате исследований значений  $q_f$  в 1,7—2,7 раза превышают приведенные выше и рекомендуемые для проектирования. Объясняется это в основном тем, что  $q_f = 233 \div 291$  Вт/м<sup>2</sup> перенесены на замораживание горизонтальными колонками из опыта проходки вертикальных шахтных стволов, где замораживанию подлежат большие объемы пород, что предопределяет и большие сроки замораживания.

При горизонтальных колонках объем замораживаемых пород ограничен и, как следствие, требуются меньшие сроки замораживания. Это приводит к тому, что на замораживание горизонтальными колонками приходится та начальная часть диаграммы изменения  $q_f$  (см. рис. 5.6), которая характеризуется более высоким средневзвешенным его значением. С увеличением же срока активного замораживания по организационным причинам до 60 сут (шахта «Западная») к моменту его окончания при перепаде температур рассола  $\Delta T_p = 0,5 \div 0,4$  К значение плотности

ТАБЛИЦА 5.1

Место проведения эксперимента	Количество холода, переданного замораживаемому массиву, $Q_0$ , млн. кДж	Площадь боковой поверхности замораживающих колонок $S_0$ , м <sup>2</sup>	Время активного замораживания $T_0$ , ч	Среднее значение плотности теплового потока $q_1$ , Вт/м <sup>2</sup>		Относительное отклонение экспериментальных значений $q_1$ от расчетных, ± %
				экспериментальное	рассчитанное по формуле (5.21)	
Ш. «Западная», восточный вентиляционный штрек	190,57	90	1445	407	397,9	+4,9
Ш. «Покровская», 17-й восточный откаточный штрек	46,71	33,2	521	750,2	760,2	-1,3
Ш. «Нелидовская», 2-й южный вентиляционный штрек	66,86	31,3	691,3	783,3	821,6	-4,9
Ш. «Скопинская», 26-й северный конвейерный штрек	49,95	31,5	720	558,6	539,2	+3,6
Ш. «Подлесная»: 5-й западный конвейерный штрек	70,92	39,5	816	611,1	603,8	+1,2
7-й западный конвейерный штрек	124,26	93,1	840	441,4	450,4	-2
Ш. «Бородинская», 73-й северный конвейерный штрек	65,22	37,3	768,2	632,2	615,6	+2,7

теплового потока уменьшилось соответственно до 326—262 Вт/м<sup>2</sup> и приблизилось к рекомендуемым значениям  $q_1$  при проходке шахтных стволов.

Расчет параметров температурного поля горизонтального ледопородного ограждения связан с определенной спецификой, в частности с отличающимися геометрическими параметрами (см. рис. 5.5) и режимом движения хладоносителя.

Средняя температура замороженных пород в ограждении необходима, главным образом, для расчета его прочностных свойств и определения объемной энтальпии. Для этого необходимо знать среднюю температуру пород в замковой и главной плоскостях.

Средняя температура пород в главной плоскости (К) определяется по формуле

$$T_{\text{ср.гл}} = K_{\text{н}} T_{\text{ст}} \left( \frac{E_{\text{н}} - r_{\text{н}}}{E \ln \frac{E_{\text{н}}}{r_{\text{н}}}} + \frac{E_{\text{в}}}{E} \right), \quad (5.22)$$

где  $T_{ст}$  — температура стенки замораживающей колонки, К;  $r_2$  — внешний радиус замораживающей колонки, м;  $K_n$  — поправочный коэффициент влияния интерференции смежных замораживающих колонок на формирование температурного поля в главной плоскости. Он получен в результате обработки экспериментальных данных и определяется по эмпирической формуле

$$K_n = (0,7 + 0,066t^{-1,88}) (1,62 + 0,008t_p) (0,76 + 0,213E). \quad (5.23)$$

Основным параметром процесса образования ледопородного ограждения, от значения которого зависит плотность теплового потока к замораживающим колонкам, является температура их внешней поверхности (стенки).

Согласно закону Ньютона — Рихмана плотность теплового потока пропорциональна разности температур между стенкой замораживающей колонки и хладоносителем вдали от нее, т. е.

$$q_f = \alpha (T_{ст} - T_p), \quad (5.24)$$

где  $\alpha$  — коэффициент теплопередачи от хладоносителя к стенке замораживающей колонки, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Подставив в формулу (5.24) значение  $q_f$  из уравнения (5.21), получим

$$T_{ст} = T_p + \frac{\psi_r \rho l (R_{np} + E)^2}{3,6\pi \alpha D_3 d_1 \tau_2}. \quad (5.25)$$

Распределение температур в ледяной зоне подчиняется логарифмическому закону, однако в замковой плоскости логарифмическая кривая с достаточной точностью аппроксимируется уравнением прямой. Средняя температура пород в замковой плоскости (К) определяется по формуле

$$T_{ср.з} = 0,5 T_k (1 + E_b/E), \quad (5.26)$$

где  $T_k$  — температура в точке пересечения замковой и осевой плоскостей, К. Ее можно определить по формуле [21]

$$T_k = T_p \left( 0,073 - 0,55 \frac{l}{2E_n} + \frac{d_2}{l} \right). \quad (5.27)$$

Проектная средняя температура замороженных пород в горизонтальном ледопородном ограждении (К) определится как полусумма средних температур в главной и замковой плоскостях:

$$T_{ср} = 0,5 (T_{ср.гл} + T_{ср.з}). \quad (5.28)$$

Если проектное значение  $T_{ср}$  отличается от ориентировочного, определяемого по формуле (5.17), более чем на 10%, то теплотехнические расчеты ( $E$ ,  $\tau$ ,  $q_f$ ,  $T_{ср}$  и т. д.) корректируются до получения допустимой сходимости.

Коэффициент теплопередачи  $\alpha$  зависит от режима движения хладоносителя в замораживающей колонке. Определим, какой режим движения имеет место при замораживании пород горизонтальными колонками. О режиме течения хладоносителя судят по числу Рейнольдса

$$Re = W d_{\text{экв}} \gamma / (\mu g), \quad (5.29)$$

где  $W$  — скорость рассола в кольцевом пространстве замораживающей колонки, м/с. Средняя скорость движения рассола по принятой технологии составляет 0,2 м/с, максимальная на коротких сложных участках доходит до 0,4 м/с;  $d_{\text{экв}}$  — эквивалентный диаметр кольцевого пространства замораживающей колонки, равный разности внутреннего диаметра колонки  $d_1$  и наружного диаметра питающей трубы  $d_n$  ( $d_{\text{экв}} = 0,026$  м при  $d_1 = 0,053$  м и  $d_n = 0,027$  м);  $\gamma$  — плотность рассола, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu$  — динамическая вязкость рассола, Па·с;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

При параметрах замораживания горизонтальными колонками, принятых в Подмосковном бассейне, максимально возможное число  $Re = 2041$ , т. е. имеет место ламинарный режим ( $Re \leq \leq 2300$ ).

При ламинарном течении жидкости в трубах и каналах в зависимости от свойств текущей жидкости могут быть два режима изотермического движения: вязкостный и вязкостно-гравитационный, для которых законы теплоотдачи существенно различны.

Вязкостный режим имеет место при значениях критериев Грасгофа и Прандтля  $Gr \cdot Pr < 8 \cdot 10^5$ , при больших значениях наступает вязкостно-гравитационный режим. В нашем случае  $Gr \cdot Pr = 5 \cdot 10^5$ .

Таким образом, при замораживании пород с принятыми технологическими параметрами в ламинарном течении хладоносителя в горизонтальных колонках существует вязкостный режим, в то время как при замораживании вертикальными колонками, заложенными с земной поверхности, с начала и до конца процесса имеет место вязкостно-гравитационный режим течения рассола в межтрубном пространстве замораживающей колонки [21].

Для вязкостного режима ламинарного течения жидкости в трубе в теплотехнике рекомендуется формула, выраженная в гидромеханических критериях:

$$Nu_f = 1,61 \left( Re \frac{d_{\text{экв}}}{L_k} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_{\text{ст}}} \right)^{0,14}, \quad (5.30)$$

где  $Nu_f$  — критерий Нуссельта (число Нуссельта);

$$Nu_f = \alpha d_{\text{экв}} / \lambda_f, \quad (5.31)$$

где  $\lambda_f$  — теплопроводность рассола, Вт/(м·К);  $\mu_{\text{ст}}$  — вязкость рассола при температуре стенки, Па·с. Отношение  $\mu/\mu_{\text{ст}}$  орден-

тировочно можно принимать равным 1,03;  $L_k$  — средняя длина замораживающей колонки, м;  $Re$  — критерий Пекле;  $Re = Re \cdot Pr$  или

$$Re = W d_{экв} \cdot 3600 / a_f, \quad (5.32)$$

где  $a_f$  — температуропроводность рассола, равная 0,00047 м<sup>2</sup>/ч.

Подставляя в формулу (5.30) значения критериев  $Nu$  и  $Re$ , получим формулу для определения коэффициента теплопередачи от хладоносителя к стенке горизонтальной замораживающей колонки при его вязкостном режиме ламинарного течения

$$\alpha = 24,68 \lambda_f \sqrt[3]{\frac{W}{d_{экв} a_f L_k} \left( \frac{\mu}{\mu_{ст}} \right)^{0,14}}. \quad (5.33)$$

Эту формулу можно применять только при  $Re \frac{d_{экв}}{L_k} > 12$ . При длине горизонтальных замораживающих колонок  $L_k = 5 \div 35$  м и имеющих место технологических параметрах это условие будет выглядеть  $29,75 > 12$ , т. е. формула (5.33) справедлива для теплотехнических расчетов технологии замораживания горизонтальными колонками. Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи для данной технологии можно принимать  $\alpha = 90 \div 160$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) для колонок длиной  $L_k = 30 \div 10$  м.

Необходимая хладопроизводительность замораживающей установки определяется по общепринятой формуле

$$Q = 1,15 q_f \pi d_1 \Sigma L_k. \quad (5.34)$$

При  $Q = \text{const}$ , т. е. когда имеется АПЗУ определенной хладопроизводительности, рациональную длину заходки замораживания можно определить из выражения

$$L_3 = Q / (3,61 q_f d_1 N). \quad (5.34a)$$

**Средства производства специальных работ по замораживанию пород.** Промышленному применению способа замораживания пород горизонтальными колонками, заложенными из забоя проводимой выработки, препятствовало отсутствие работоспособных конструкций подземных передвижных замораживающих установок и средств заложения замораживающих колонок в переслаивающиеся песчано-глинистые обводненные породы. Идею применения ППЗУ для повышения экономической эффективности способа замораживания пород при проведении горизонтальных выработок предложил засл. деят. науки и техники РСФСР, проф. Н. Г. Трулак, и в 1939 г. проект такой установки был разработан проектно-исследовательским отделом Московского горного института на базе аммиачного компрессора.

Некоторый опыт замораживания пород из забоя подземных горных выработок имеется в ПНР и ЧССР с размещением аммиачных замораживающих установок, либо в специальных камерах недалеко от места производства работ, либо на земной поверхности. Следует отметить, что, учитывая взрывоопасность воздушно-аммиачной смеси и токсические свойства аммиака,ходящую струю воздуха из выработки направляли на земную поверхность по специальной вентиляционной скважине.

Работоспособную безопасную ППЗУ впервые разработал Подмосковский ИИУИ. При этом был решен и вопрос заложения замораживающих колонок в породах плавунного типа.

Подземные передвижные замораживающие установки должны удовлетворять основным требованиям:

иметь небольшие габаритные размеры, малую массу, легко и быстро перемещаться с одного места работы на другое;

оборудование должно быть компактно смонтировано на платформах со скатами от рудничных вагонеток и состоять из минимального числа таких платформ;

размеры отдельных агрегатов должны позволять осуществлять их спуск по шахтным стволам и перемещение по горным выработкам с соблюдением соответствующих правил безопасности;

монтаж и демонтаж установки должен осуществляться с минимальными затратами сил и средств;

конструкция установки и холодильный агент должны гарантировать полную безопасность обслуживающего персонала.

Подмосковский ИИУИ разработал АПЗУ, отвечающие вышеприведенным требованиям. Их технические характеристики представлены в табл. 5.2.

Выбор модели АПЗУ в каждом конкретном случае производится расчетным путем в зависимости от горнотехнических и гидрогеологических факторов, теплофизических свойств горных пород, горного и гидростатического давления, длины заходки замораживания, схемы заложения замораживающих колонок, их диаметра и числа. Следует учитывать фактическую площадь сечения и состояние выработки в месте стоянки АПЗУ.

Для ориентировочных расчетов можно принять следующие максимальные значения боковых поверхностей замораживающих колонок, при которых обеспечивается необходимая хладопроизводительность; АПЗУ-2 — 176 м<sup>2</sup>, АПЗУ-3 — 88 м<sup>2</sup>, АПЗУ-4 — 352 м<sup>2</sup>. Две последние модели АПЗУ предпочтительнее применять при наличии в замораживаемом массиве фильтрационного потока.

АПЗУ представляет собой комплекс аппаратов и приборов, объединенных в замкнутую систему, в которой создается искусственный холод. Процесс получения искусственного холода можно проследить по схеме искусственного замораживания пород.

ТАБЛИЦА 5.2

Показатели	Замораживающие установки		
	АПЗУ-2	АПЗУ-3	АПЗУ-4
Тип установки	Автоматизированная подземная передвижная		
Хладопоглотитель	Водный раствор хлористого кальция		
Базовая холодильная машина	IXM-ФУУ80I; IXM-ФУУ80I(PЭ)	XM-ФУУ40I; XM-AУ,45I	МКТ 220-2-2; МКТ 220-2-3
Хладопроизводительность, кВт (при $t_{s,2} = 258$ К и $t_{w,1} = 283$ К)	100	50	200
Минимальная температура хладоносителя, К	248	248, 239	239
Холодильный агент	Хладон-12	Хладон-12/22	Хладон-22
Смазка (тип масла)	ХФ 12-16	ХФ 12-16/22-24	ХФ 22-24
Заряжаемое количество, кг:			
хладона	350	160	110
масла	30	20	20
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	30	15	45
Установленная мощность, кВт	70	45	115
Режим работы	Ручной,	автоматический,	программный
Рабочее напряжение, В:			
компрессора, насосов	380/660	380/660	380/660
цепей управления	18/36	18/36	18/36
Ширина рельсовой колеи, мм	600 и 900	600 и 900	600 и 900
Длина смонтированной установки, м	10	10	11,54
Максимальные габариты отдельных агрегатов, мм:			
длина	2500	2500	3950
ширина	1100	920	1200
высота	1640	1700	1680
Максимальная масса отдельного агрегата, кг	1820	1820	3000
Масса установки, кг	7600	7000	9700

представленной на рис. 5.7. Компрессор 9 засасывает и сжимает пары хладона, которые затем направляются в конденсатор 10. Там они охлаждаются, отдавая тепло конденсации охлаждающей воде 16, циркулирующей в конденсаторе с помощью насоса или за счет давления столба воды в противопожарном шахтном тру-

Некоторый опыт замораживания пород из забоя подземных горных выработок имеется в ПНР и ЧССР с размещением аммиачных замораживающих установок, либо в специальных камерах недалеко от места производства работ, либо на земной поверхности. Следует отметить, что, учитывая взрывоопасность воздушно-аммиачной смеси и токсические свойства аммиака, проходящую струю воздуха из выработки направляли на земную поверхность по специальной вентиляционной скважине.

Работоспособную безопасную ППЗУ впервые разработал Подмосковский ИИУИ. При этом был решен и вопрос заложения замораживающих колонок в породах пльвунного типа.

Подземные передвижные замораживающие установки должны удовлетворять основным требованиям:

иметь небольшие габаритные размеры, малую массу, легко и быстро перемещаться с одного места работы на другое;

оборудование должно быть компактно смонтировано на платформах со скатами от рудничных вагонеток и состоять из минимального числа таких платформ;

размеры отдельных агрегатов должны позволять осуществлять их спуск по шахтным стволам и перемещение по горным выработкам с соблюдением соответствующих правил безопасности;

монтаж и демонтаж установки должен осуществляться с минимальными затратами сил и средств;

конструкция установки и холодильный агент должны гарантировать полную безопасность обслуживающего персонала.

Подмосковский ИИУИ разработал АПЗУ, отвечающие вышеприведенным требованиям. Их технические характеристики представлены в табл. 5.2.

Выбор модели АПЗУ в каждом конкретном случае производится расчетным путем в зависимости от горнотехнических и гидрогеологических факторов, теплофизических свойств горных пород, горного и гидростатического давления, длины заходки замораживания, схемы заложения замораживающих колонок, их диаметра и числа. Следует учитывать фактическую площадь сечения и состояние выработки в месте стоянки АПЗУ.

Для ориентировочных расчетов можно принять следующие максимальные значения боковых поверхностей замораживающих колонок, при которых обеспечивается необходимая хладопроизводительность: АПЗУ-2 — 176 м<sup>2</sup>, АПЗУ-3 — 88 м<sup>2</sup>, АПЗУ-4 — 352 м<sup>2</sup>. Две последние модели АПЗУ предпочтительнее применять при наличии в замораживаемом массиве фильтрационного потока.

АПЗУ представляет собой комплекс аппаратов и приборов, объединенных в замкнутую систему, в которой создается искусственный холод. Процесс получения искусственного холода можно проследить по схеме искусственного замораживания пород,

ТАБЛИЦА 5.2

Показатели	Замораживающие установки		
	АПЗУ-2	АПЗУ-3	АПЗУ-4
Тип установки	Автоматизированная подземная передвижная		
Хладоноситель	Водный раствор хлористого кальция		
Базовая холодильная машина	IXM-ФУУ801; IXM-ФУУ801(РЭ)	XM-ФУУ401; XM-AУ,451	МКТ 220-2-2; МКТ 220-2-3
Хладопроизводительность, кВт (при $t_{s_2}=258$ К и $t_{w_1}=283$ К)	100	50	200
Минимальная температура хладоносителя, К	248	248, 239	239
Холодильный агент	Хладон-12	Хладон-12/22	Хладон-22
Смазка (тип масла)	ХФ 12-16	ХФ 12-16/22-24	ХФ 22-24
Заряжаемое количество, кг:			
хладона	350	160	110
масла	30	20	20
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	30	15	45
Установленная мощность, кВт	70	45	115
Режим работы	Ручной, автоматический, программный		
Рабочее напряжение, В:			
компрессора, насосов	380/660	380/660	380/660
цепей управления	18/36	18/36	18/36
Ширина рельсовой колеи, мм	600 и 900	600 и 900	600 и 900
Длина смонтированной установки, м	10	10	11,54
Максимальные габариты отдельных агрегатов, мм:			
длина	2500	2500	3950
ширина	1100	920	1200
высота	1640	1700	1680
Максимальная масса отдельного агрегата, кг	1820	1820	3000
Масса установки, кг	7600	7000	9700

представленной на рис. 5.7. Компрессор 9 засасывает и сжимает пары хладона, которые затем направляются в конденсатор 10. Там они охлаждаются, отдавая тепло конденсации охлаждающей воде 16, циркулирующей в конденсаторе с помощью насоса или за счет давления столба воды в противопожарном шахтном тру-

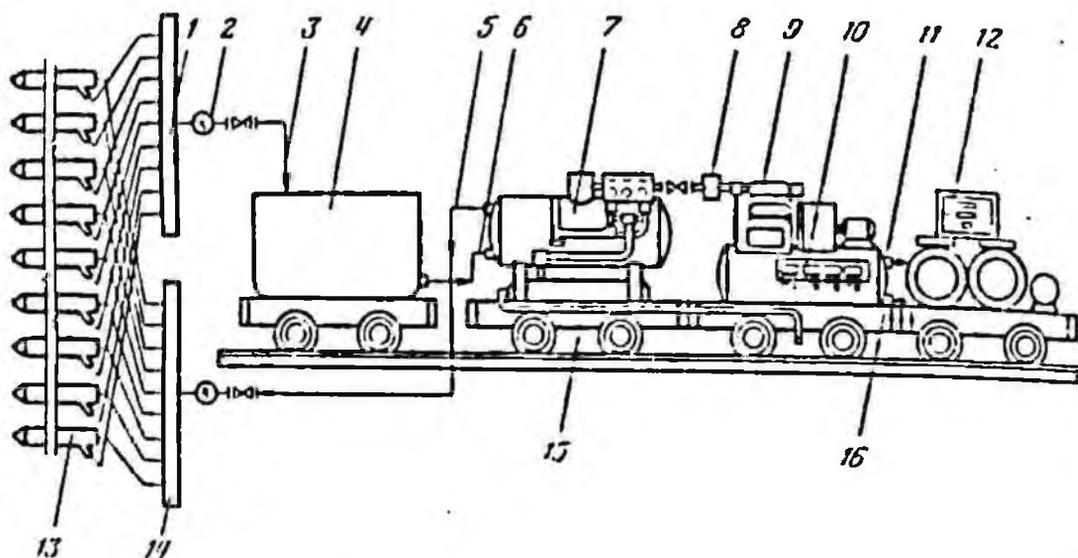


Рис. 5.7. Схема искусственного замораживания пород:

1 — коллектор хладоносителя; 2 — расходомер; 3 — магистраль слива хладоносителя в емкость; 4 — емкость хладоносителя; 5 — магистраль подачи хладоносителя в замораживающие колонки; 6 — вход хладоносителя в испаритель; 7 — испаритель; 8 — трубопровод паров хладагента (хладона); 9 — компрессор; 10 — конденсатор; 11 — слив охлаждающей воды; 12 — электрораспределитель и шит управления; 13 — замораживающая колонка; 14 — распределитель хладоносителя; 15 — трубопровод жидкого хладона; 16 — подача охлаждающей воды

бопроводе. Из конденсатора жидкий хладон 15 поступает в испаритель 7, где происходит его кипение при низкой температуре за счет притока тепла от хладоносителя 6, подаваемого насосом из рассольной емкости. Далее пары хладона засасываются компрессором, и цикл повторяется.

Охлажденный рассол (28—29%-ный водный раствор  $\text{CaCl}_2$ ) 5 из испарителя 7 через распределитель 14 попадает в замораживающие колонки 13. Соединение отдельных элементов и отрезков замораживающей колонки производится сваркой с обеспечением прямолинейности и герметичности. Допускается резьбовое соединение отрезков замораживающих и питающих труб с пеньковой подмоткой на сурнике.

Рассол, попадая в межтрубное пространство колонок, отбирает тепло у замораживаемого массива и нагретый через коллектор сливается в рассольную емкость. Затем цикл повторяется.

АПЗУ изготовляют на базе отечественных серийных хладоновых (фреоновых) холодильных машин: IXM-ФУУ80I, XM-ФУУ80I(РЭ), XM-ФУУ40I, работающих на R 12, и XM-АУУ,90I, XM-АУ,45I, МКТ 220—2—2(3), работающих на R 22. Основные конструктивные изменения базовой холодильной машины заключаются в приспособлении ее к условиям работы в подземных условиях в передвижном варианте и такой компоновке ее узлов, чтобы при транспортировании и работе выполнялись требования «Правил безопасности в угольных и сланцевых шах-

тах» к величине зазоров между подвижным составом и крепью. Кроме того, АПЗУ должна отвечать требованиям, предъявляемым к рудничному оборудованию.

Возможна и другая компоновка узлов АПЗУ. Так, в замораживающей установке АПЗУ-4 испаритель и конденсатор объединены в один агрегат. С учетом его большой длины (3,95 м) он смонтирован на двух поворотных тележках, обеспечивающих более благоприятное транспортирование на участках с закруглением рельсовых путей. Компрессор с электродвигателем в рудничном исполнении смонтированы на отдельной платформе. Такая оригинальная компоновка позволила разработать АПЗУ-4, по хладопроизводительности вдвое превышающую АПЗУ-2 при тех же габаритах по высоте и ширине.

Автоматизация процесса замораживания пород предопределяет собой совокупную работу автоматизированной холодильной установки [8] и средств контроля проектного положения границы ледопородного ограждения.

Автоматизация ППЗУ предусматривает управление всеми основными процессами технологического цикла с помощью устройств автоматики, что дает возможность отказаться от непрерывного обслуживания, повышает надежность и безопасность ее работы и включает в себя следующие системы:

а) систему автоматического регулирования (САР), предназначенную для поддержания в АПЗУ заданного режима. В активный период замораживания необходимость в САР хладопроизводительности отпадает, так как в это время АПЗУ должна работать в постоянном режиме максимальной хладопроизводительности.

В пассивный же период замораживания АПЗУ должна работать в таком режиме, чтобы ее хладопроизводительность компенсировала теплоприток из зоны незамороженных пород. Анализ существующих способов изменения хладопроизводительности показал, что наиболее приемлемым для условий АПЗУ и имеющим наилучшие технико-экономические показатели является способ «пуск — остановка»;

б) системы автоматической защиты (САЗ), действующей как ограничитель и выключающей АПЗУ или один из ее элементов при достижении контролируемой величиной предельного значения.

Для предотвращения аварий компрессора предусмотрены следующие виды САЗ: защита от повышенного давления нагнетания, пониженного давления всасывания и в системе смазки, а также блокировка компрессора с насосами — водяным и рассольным.

При автоматическом питании испарителя жидким хладоном предусматриваются САЗ от его переполнения и замерзания рассола.

САЗ АПЗУ должны быть однократного действия, т. е. осуществляют ее остановку при срабатывании любого вида защиты и делают невозможным автоматический пуск без вмешательства персонала, кроме автозапуска при возобновлении подачи воды или электроэнергии;

в) измерительную систему, состоящую из мановакуумметров, контролирующую температуру испарения и конденсации хладона, а также давление в картере и масле насосе;

г) систему сигнализации, дающую информацию о запуске и работе отдельных элементов АПЗУ. При необходимости она может передаваться на диспетчерский пульт.

Существенным в надежной работе АПЗУ является автоматизация конденсатора, которая должна поддерживать оптимальное давление конденсации и экономить охлаждающую воду. Наблюдения за эксплуатацией АПЗУ показали, что надежность их работы в режиме максимальной хладопроизводительности во многом зависит от постоянства режима конденсации, колебания которого, особенно понижение давления, отрицательно сказываются на работе терморегулирующих вентилей типа ТРВК-100, обеспечивающих автоматическое питание испарителя хладоном. Постоянство давления конденсации может обеспечить водорегулятор пилотного типа с соответствующим коэффициентом пропускной способности.

Автоматические регуляторы и средства защиты необходимо применять во взрывозащищенном исполнении.

Автоматизация ППЗУ не исключает отказов, но значительно уменьшает их число и тяжесть. В табл. 5.3 приведены значения критериев надежности АПЗУ в сравнении с неавтоматизированными ППЗУ.

Как показали исследования, проведенные на шахтах Подмосковного бассейна при эксплуатации АПЗУ, их автоматизация позволила сократить общее время создания ледопородного ограждения на 25—27%.

Критериями автоматизации процесса замораживания являются отключение АПЗУ при достижении границы ледопородно-

ТАБЛИЦА 5.3

Критерий надежности	Режим работы ППЗУ		Кратность изменения величины критерия, ±
	ручной	автоматический	
Вероятность безотказной работы	0,0005	0,032	+64
Средняя наработка на отказ, ч	99	264,7	+2,67
Среднее время восстановления, ч	27	0,64	-42
Коэффициент готовности	0,786	0,997	+1,27

го ограждения проектного значения и включение АПЗУ в режим пассивного замораживания. В практике замораживания пород контроль осуществляют либо замером температур входящего в колонки и возвращающегося из них рассола с фиксацией его количества, либо посредством измерения температур в замораживающих и термонаблюдательных скважинах температурными датчиками с последующей обработкой результатов замеров и выдачей прогнозных контуров ледопородного ограждения. Эти способы контроля являются косвенными, а нашедший распространение в последние годы ультразвуковой метод контроля ледопородных ограждений вертикальных шахтных стволов из-за больших габаритных размеров аппаратуры, прерывности процесса замораживания не может пока найти применения при замораживании горизонтальными колонками.

Для осуществления автоматизации процесса замораживания в Подмосковном НИУИ был разработан прямой способ контроля за проектным положением границы ледопородного ограждения. Большинство горных пород можно рассматривать как двухкомпонентные среды, в которых проводящей компонентой является вода, а непроводящей — минеральный скелет. Они относятся к классу полупроводников и обладают его существенным отличительным признаком — уменьшением их электропроводности с повышением температуры. Влияние отрицательных температур на удельное сопротивление горных пород проявляется сразу же после перехода в область температур около  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже и особенно резко в рыхлых обводненных породах. Это физическое явление использовано при разработке средств контроля проектного положения границы ледопородного ограждения.

Рассмотрим процессы, связанные с изменением хладопроводительности АПЗУ по способу «пуск — остановка». Автоматическое управление двигателем компрессора осуществляет реле, чувствительный элемент которого — датчик установлен на проектной границе ледопородного ограждения.

На рис. 5.8, а изображена теоретическая зависимость сопротивления породы  $R_x$ , расположенной между электродами датчика, от ее температуры  $T$  в процессе замораживания, совмещенная с характеристикой реле.

При достижении границы ледопородного ограждения проектного положения пластовая вода между электродами датчика замерзает и сопротивление породы достигает величины  $R_{x \text{ откл}}$ , при которой реле разрывает цепь управления двигателем компрессора  $D_k$ , а при снижении ее до  $R_{x \text{ вкл}}$  в процессе оттаивания — замыкает цепь. Несмотря на дифференциал реле  $\Delta = R_{x \text{ откл}} - R_{x \text{ вкл}}$ , зона его работы находится в непосредственной близости  $0^{\circ}\text{C}$ , так как сопротивление пород в этом районе резко изменяется.

Графики, представленные на рис. 5.8, в, показывают проте-

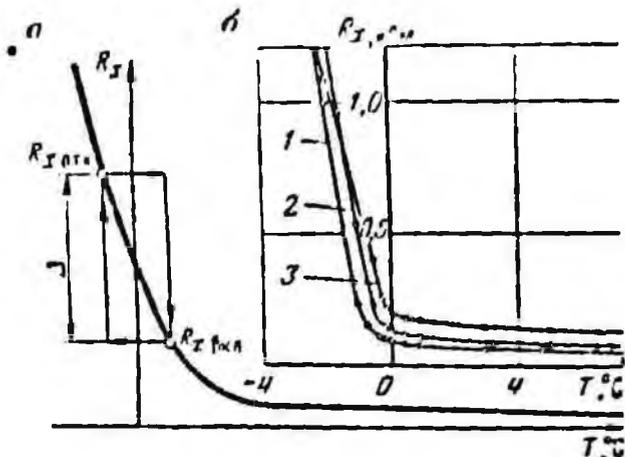


Рис. 5.8. Графики изменения хладопроизводительности по способу «пуск — остановка»:

а — характеристика исполнительного реле; б — зависимость электрического сопротивления замораживаемой породы  $R_x$  между электродами датчика от ее температуры  $T$  (1 — пластовая вода с сухим остатком 293 мг/л; 2 — глина, влажность  $W = 50\%$ ; 3 — песчано-глинистые породы,  $W = 30\%$ ); в — график изменения электрического сопротивления пород между электродами датчика и работа компрессора во времени ( $\tau_u$ ,  $\tau_o$ ,  $\tau_p$  — соответственно время цикла, остановки и работы компрессора замораживающей установки;  $\tau_1$ , ...,  $\tau_5$  — моменты включения и отключения электродвигателя компрессора)

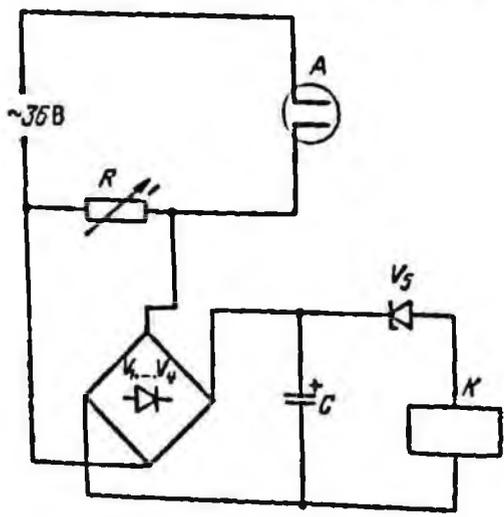
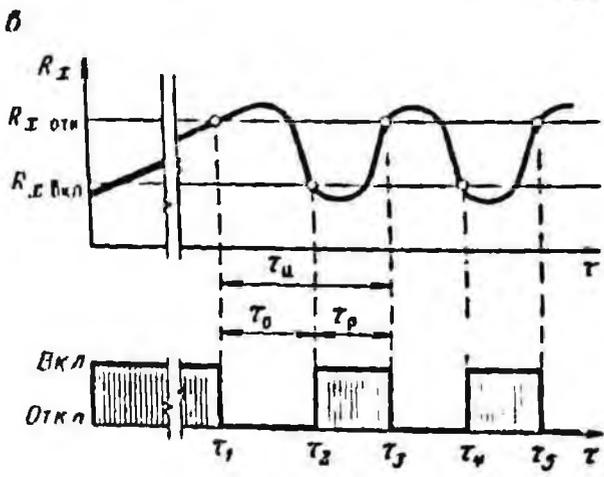


Рис. 5.9. Электрическая схема автоматического управления двигателем компрессора АПЗУ:

А — датчик контроля проектного положения границы ледопородного ограждения; R — регулируемый резистор; C — конденсатор;  $V_1, \dots, V_4$  — диоды;  $V_5$  — кремниевый стабилитрон; K — реле

кание процессов во времени. В конце периода активного замораживания сопротивление пород увеличивается и в момент  $\tau_1$  совмещения границы замораживания с электродами датчика выходной его параметр достигает значения  $R_x$  откл. В соответствии с характеристикой (см. рис. 5.8, а) при этом сопротивлении реле разрывает цепь управления  $D_k$ . Однако рост толщины ле-

допородного ограждения в силу его инерционности еще некоторое время продолжается. При этом температура замороженных пород в месте расположения датчика понижается, а сопротивление на электродах увеличивается. После достижения теплового равновесия начинается обратный процесс — оттаивание ледопородного ограждения. В момент  $t_2$ , когда граница оттаивания проходит через датчик, выходной его параметр достигает величины  $R_{x \text{ вкл}}$ . При этом реле замыкает цепь управления  $D_k$ . Компрессор включается, и холод начинает подаваться к ограждению. Некоторое время оно еще оттаивает, а затем температура его начинает понижаться, и происходит движение границы ледопородного ограждения к датчику. В момент  $t_3$  прохода ее через электроды датчика выходной его параметр достигает величины  $R_{x \text{ откл}}$  и реле вновь разрывает цепь управления  $D_k$ . Далее процесс повторяется.

Анализ возможных схем работы датчика в системе аппаратуры автоматического управления  $D_k$  показал, что наиболее рациональной является схема, представленная на рис. 5.9. Схема состоит из двух цепей: переменного и постоянного тока. Первая служит для непрерывного слежения за измеряемой величиной (сопротивлением пород между электродами датчика) и передачи ее во вторую цепь (цепь управления), которая и задает режим работы АПЗУ.

Цепь переменного тока, который в значительной мере исключает влияние электрокинетических явлений, состоит из двух последовательно включенных сопротивлений: первым является сопротивление пород, вторым — добавочное (регулируемое) сопротивление, служащее для сравнения и передачи сигнала управления.

Цепь постоянного тока состоит из выпрямителя и конденсатора, служащих для преобразования сигнала управления, и последовательно соединенного стабилитрона с обмоткой реле. Последнее является исполнителем команд, а стабилитрон служит для улучшения его характеристики.

В период замораживания сопротивление пород возрастает и вследствие этого напряжение на электродах увеличивается, а на дополнительном сопротивлении уменьшается. Пропорционально этому уменьшается напряжение на обмотке реле и в некоторый момент достигается напряжение отпускания, в результате чего реле срабатывает и отключает  $D_k$ .

Для работы АПЗУ в автоматическом режиме слежения за проектным положением границы ледопородного ограждения необходимо выбрать величину уставки регулируемого резистора  $R_{\text{рег}}$  таким образом, чтобы включение  $D_k$  происходило в момент времени, когда температура в точке установки датчика была равна  $0^\circ\text{C}$ , при этом сопротивление породы между электродами датчика будет равно  $R_{x \text{ вкл}}$ . Уставку регулируемого резистора

(Ом) можно определить по формуле

$$R_{рег} = \frac{R_{с.в.л} + R_c}{U_n K_{выпр} / (I_{ср} R_{обм} + U_c) - 1} \quad (5.35)$$

где  $R_c$  — сопротивление соединительной магистрали датчика, Ом;  $U_n$  — напряжение питания, В;  $K_{выпр}$  — коэффициент выпрямления;  $I_{ср}$  — ток срабатывания реле, А;  $R_{обм}$  — сопротивление обмотки реле, Ом;  $U_c$  — напряжение срабатывания реле, В.

Сопротивление пород (Ом) между электродами датчика в момент отключения двигателя компрессора  $D_k$  можно найти по формуле

$$R_{л.откл} = \left( \frac{U_n K_{выпр}}{I_{отп} R_{обм} + U_c} - 1 \right) R_{рег} - R_c \quad (5.36)$$

где  $I_{отп}$  — ток отпускания реле, А.

Время от момента отключения  $D_{к1}$  до момента включения  $D_{к2}$  (см. рис. 5.8), т. е. прихода границы ледопородного ограждения в проектное положение, по моделированию и шахтным исследованиям составляет  $\Delta t = 14,6 \div 29,8$  сут. За это время средняя температура ледопородного ограждения повысится и составит (при  $T_r = 281$  К)

$$T_{ср.отт} = 0,35 \sqrt{t_{отт}} + T_{ср} \quad (5.37)$$

где  $t_{отт}$  — время оттаивания ограждения, сут.

Корреляционное отношение для полученной по результатам исследований зависимости  $\eta = 0,83$ . При оценке вероятности гипотезы о форме связи опытной кривой вычислялся показатель достоверности:  $0_\eta = 0,999$ .

Если ледопородное ограждение выполняет только противофильтрационные функции, то работа АПЗУ в пассивном режиме возможна по вышеприведенной схеме. В том случае, когда ледопородное ограждение рассчитано на определенную нагрузку и средние температуры за время  $\Delta t$  превышают предельно допустимые, то автоматика АПЗУ должна быть запрограммирована на работу по поддержанию  $T_{ср}$  в проектных значениях. Для этой цели имеется командный прибор типа КЭП, а время работы в пассивном режиме устанавливается по формуле (5.20). Предусматривается режим ручного управления для проведения пусконаладочных и ремонтных работ.

Наиболее трудоемкой и ответственной операцией в процессе производства специальных работ по замораживанию пород является заложение горизонтальных и наклонных замораживающих колонок. Оно может быть технически осуществлено с помощью задавливания или предварительного бурения скважин.

Проведенные на шахтах Подмоскoвнoгo бассейна исследования по задавливанию замораживающих колонок диаметром 0,06—0,1 м в переслаивающиеся песчано-глинистые обводненные породы с помощью гидродомкратов и электровибратора показали, что на сложных участках протяженностью до 35 м требуются усилия до 700 кН. Во-первых, такие усилия определяют оборудование больших габаритных размеров и значительной массы, что в условиях подземных горных выработок по технологическим соображениям неприемлемо. Во-вторых, замораживающие трубы с толщиной стенки 3,5—4 мм деформируются на первых же метрах, особенно при встрече с прослойками угля и включениями колчедана. Применение же толстостенных дорогостоящих и дефицитных труб экономически нецелесообразно, поэтому требуется предварительное бурение скважин.

Сооружение скважины в породах плавунного типа требует одновременной ее обсадки трубами, материал которых имеет минимальное термическое сопротивление. При этом скважины должны закладываться за контуром выработки в проходке параллельно оси выработки или с небольшим углом наклона к ней. Сложность уширения выработки под буровую камеру предъявляет повышенные требования к габаритам бурового станка.

Анализ технических характеристик отечественных и зарубежных станков для подземного бурения показал, что по предъявляемым требованиям ни один станок не подходил для бурения горизонтальных скважин в породах плавунного типа. Только переносной буровой станок БС-50, нашедший широкое применение в Подмоскoвнoм бассейне для бурения вертикальных дренажных скважин, с конструктивными изменениями был использован для бурения горизонтальных замораживающих скважин (БСЗ) (рис. 5.10).

Более совершенный станок СБД-2М, предназначенный для бурения веера дренажных скважин с одной стоянки буровой тележки, также не обеспечивает возможности бурения замораживающих скважин по периметру выработки. Поэтому при его использовании, как и станка БСЗ, но в большей степени требуются большие затраты труда по перестановке со скважины на скважину.

С целью создания высокопроизводительного малогабаритного бурового агрегата с механизацией всех трудоемких процессов и не имеющего вышеприведенного недостатка была разработана подземная передвижная буровая установка ПБУ на базе серийно выпускаемых бурильной установки БУЭ-1М и станка СБД-2М. Она позволяет бурить горизонтальные скважины с одновременной их обсадкой в породах плавунного типа по периметру горной выработки любой конфигурации с одной стоянки.

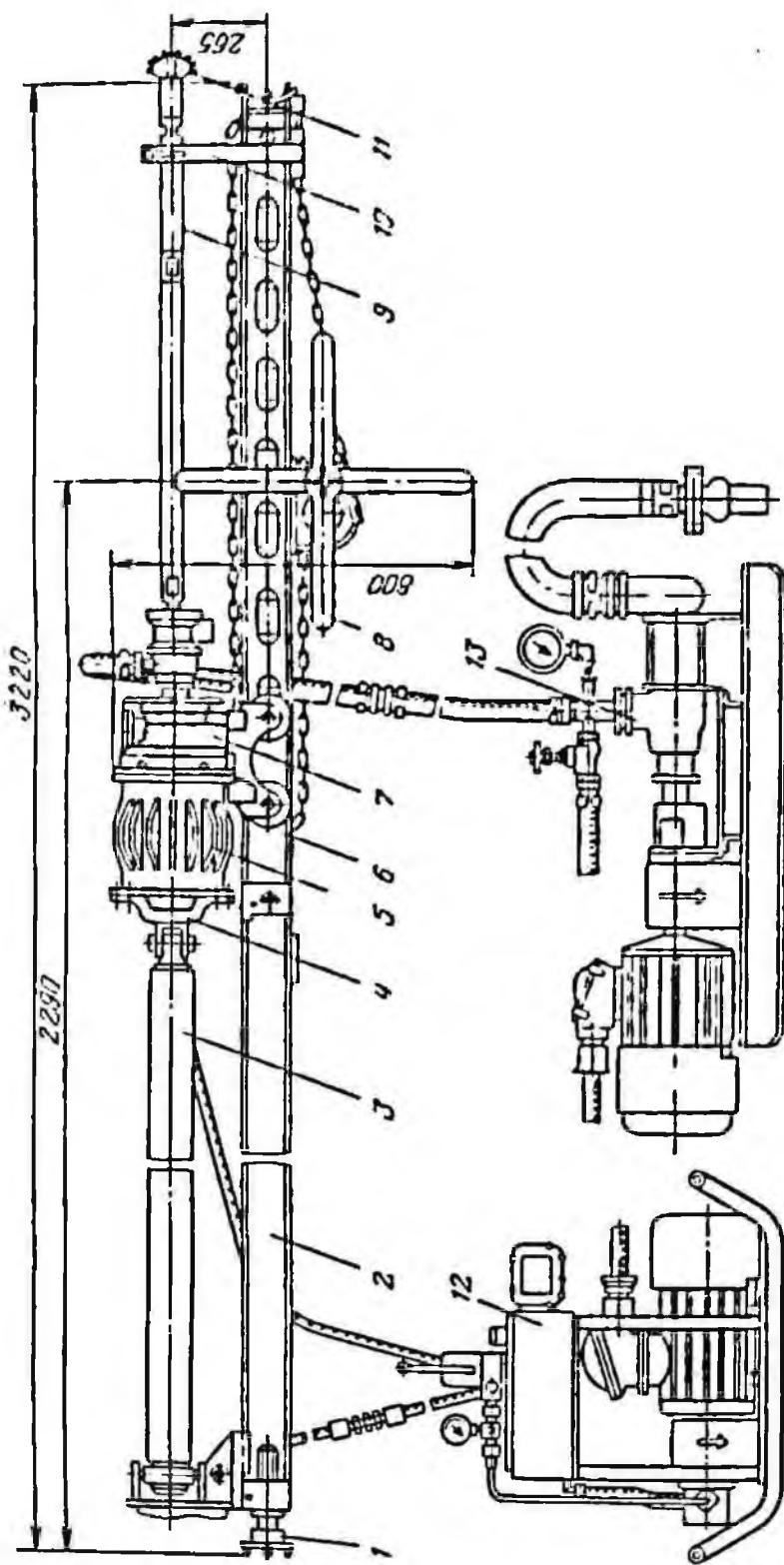


Рис. 5.10. Буровой станок для бурения замораживающих скважин БСЗ:

1 — распорный винт; 2 — съемная рама; 3 — гидродомкрат; 4 — упор; 5 — электродвигатель; 6 — опорная рама; 7 — вращатель; 8 — рукоятка подачи; 9 — буровая штанга; 10 — центрирующая опора; 11 — складная буровая коронка; 12 — масляный насос; 13 — промывочный насос

### Техническая характеристика БСЗ и ПБУ

	БСЗ	ПБУ
Буровое оборудование . . . . .	0	120
Глубина скважины . . . . .	0	120
Глубина скважины с одновременной обсадкой се, м . . . . .	35	60
Диаметр скважины, мм . . . . .	135; 108; 76	151—76
Наибольшая высота скважины при располо- жении вращателя параллельно почве выработ- ки, м . . . . .		4
Мощность электродвигателя вращателя, кВт	3	4
Частота вращения шпинделя $c^{-1}$ . . . . .	1,35	1; 1,83; 2,66
Усилие подачи, кН . . . . .	40	30
Ход подачи, м . . . . .	0,84	1,115
Скорость передвижения, м/мин . . . . .		1,75
Ширина рельсовой колес, мм . . . . .		600; 700; 900
Габариты, мм:		
ширина при колее, мм:		
600 . . . . .	485	850
750 . . . . .	485	1000
900 . . . . .	485	1150
в сложенном положении . . . . .		600
высота . . . . .	800	1200
длина . . . . .	3220	7100
Базовое буровое оборудование . . . . .	БС-50	СБД-2м; БУЭ-1

Выбор бурового оборудования в каждом конкретном случае определяется технической и экономической целесообразностью, при этом учитываются такие факторы, как объем бурения, длина сложного участка, горнотехнические условия бурения скважин, сроки производства работ и т. д.

Станок БСЗ предпочтительнее использовать при незначительных объемах бурения и в забоях с «потерянным» сечением, усиленных дополнительной крепью. Установку ПБУ рекомендуется применять при больших объемах бурения и в выработках с увеличенной площадью сечения.

Опыт замораживания пород из забоя подземных горных выработок. Технология замораживания пород из забоя проводимой выработки с использованием АПЗУ, разработанная Подмосковным НИУИ, нашла применение на шахтах Подмосковного, Донецкого, Печорского угольных бассейнов страны при проведении и перекреплении горизонтальных, наклонных и вертикальных горных выработок [9]. Наиболее характерные примеры подземного замораживания пород пльвунного типа на сложных участках горных выработок и их основные показатели приведены в табл. 5.4.

В основном технология подземного замораживания применяется на действующих шахтах при подготовке фронта очистных работ. Примером может служить проведение горизонтального участка выработки в 7-м западном конвейерном штреке на шахте «Подлесная» (рис. 5.11), предназначенного для вскрытия перспективной северо-западной панели шахтного поля. Про-

ТАБЛИЦА 5.4

Шахта, горная выработка	Размеры выработки, вид крепи сложного участка	Протяженность сложного участка, м	Длина заходки замораживания, м	Число замораживающих колонок	Время замораживания, сут	
<i>Горизонтальные горные выработки</i>						
«Западная» ПО «Тулауголь», восточный главный вентиляционный штрек	$S_{с.з.} = 12 \text{ м}^2$ , бочкообразная монолитная железобетонная	23	25	18	60	
«Покровская» ПО «Тулауголь», 17-й восточный главный откаточный штрек (восстановление)	$S_{с.з.} = 6,1 \text{ м}^2$ , трапециевидная сборная железобетонная	7	8	14	23	
«Подлесная» ПО «Тулауголь»:						
7-й западный конвейерный штрек	$S_{с.з.} = 9 \text{ м}^2$ металлическая кольцевая	22	26	19	35	
5-й западный конвейерный штрек	$S_{с.з.} = 6,5 \text{ м}^2$ с последующим		13,5	15	14	34
большая объездная выработка околоствольного двора (перекрепление)	$S_{с.з.} = 7,3 \text{ м}^2$ бетонированием		9	12,7	14	24
«Владимировская» ПО «Тулауголь»:						
грузовая ветвь вспомогательного ствола	$S_{с.з.} = 24,4 \text{ м}^2$ , арочная с обратным сводом монолитная железобетонная	30	35	15	30	
восточный магистральный конвейерный штрек	$S_{с.з.} = 9,2 \text{ м}^2$ , АШВ-6-6	25	26	17	34	
«Нелидовская» ПО «Новомосковскуголь», 2-й северный главный откаточный штрек	$S_{с.з.} = 6,3 \text{ м}^2$ , металлическая кольцевая	73	13	16	30	
«Львовская» ПО «Новомосковскуголь», 9-й южный главный откаточный штрек		183	23	11	25	
			23	14	24	
			22	14	25	
			7	16	42	
			10	45	25	
			(перекрепление)			
			14	22	43	
			16	20	43	
			16	20	39	
			5	24	22	
			(перекрепление)			
			8	28	43	
			25	21	36	
			25	21	44	
			25	21	39	
			25	21	39	
			25	21	47	

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ. 5.4

Шахта, горная выработка	Размеры выработки, вид крепи сложного участка	Протяженность сложного участка, м	Длина заходки замораживания, м	Число замораживающих колонок	Время активного замораживания, сут
<i>Наклонные горные выработки</i>					
«Нелидовская» ПО «Новомосковскуголь», 2-й южный главный вентиляционный штрек	$S_{св}=6,3 \text{ м}^2$ , металлическая кольцевая	14	15	14	30
«Кировско-Западная» ПО «Советскуголь», наклонный конвейерный ствол	$S_{св}=16,2 \text{ м}^2$ , МПК-3-7	15	15	29	40
Шахта им. Артема ПО «Ростовуголь», вентиляционный восточный наклонный ствол	$S_{св}=13,9 \text{ м}^2$ , арочная металлическая	15	16	22	45
<i>Вертикальные горные выработки</i>					
«Дедиловская» ПО «Тулауголь», водопонижительные колодцы в 57 и 59-м южных штреках	$1,5 \times 2,5 \times 2,5 \text{ м}$ $3 \times 1,7 \times 2,5 \text{ м}$ $1,5 \times 2,9 \times 3,5 \text{ м}$	вешевая деревянная	2,5	20	6
			2,5	16	10
			3,5	18	8
«Воркутинская» ПО «Воркутауголь», вентиляционный ствол № 4	$S_{св}=44,2 \text{ м}^2$ , монолитная железобетонная	7,1	18,3	29	78,5

ведение штрека осуществлялось по известняку с частичной подрывкой глины, залегающей между пластом угля и известняком. На расстоянии 150 м от 3-го западного откаточного штрека было встречено карстовое нарушение. Неоднократные попытки его обхода, применение фазового способа и забивной крепи оказались неэффективными, поэтому было решено прибегнуть к подземному замораживанию.

В результате инженерно-геологических изысканий было установлено, что неустойчивые обводненные породы залегают на участке протяженностью не менее 22 м. Для их замораживания из уширенной части штрека (буровой камеры) заложили 19 горизонтальных замораживающих колонок вне контура выработки в проходке длиной до 26 м. Обломки трещиноватого известняка из карстовой воронки затрудняли бурение. Средняя скорость бурения станком ДС-4 с одновременной обсадкой скважин составила 5 м/смену. При бурении же по песчано-глинистым породам скорость достигала 15—18 м/смену. Средняя скорость проходки с отбойкой замороженных пород отбойными молотками и ручной погрузкой составила 0,87 м/сут (затрачено 292 чел-

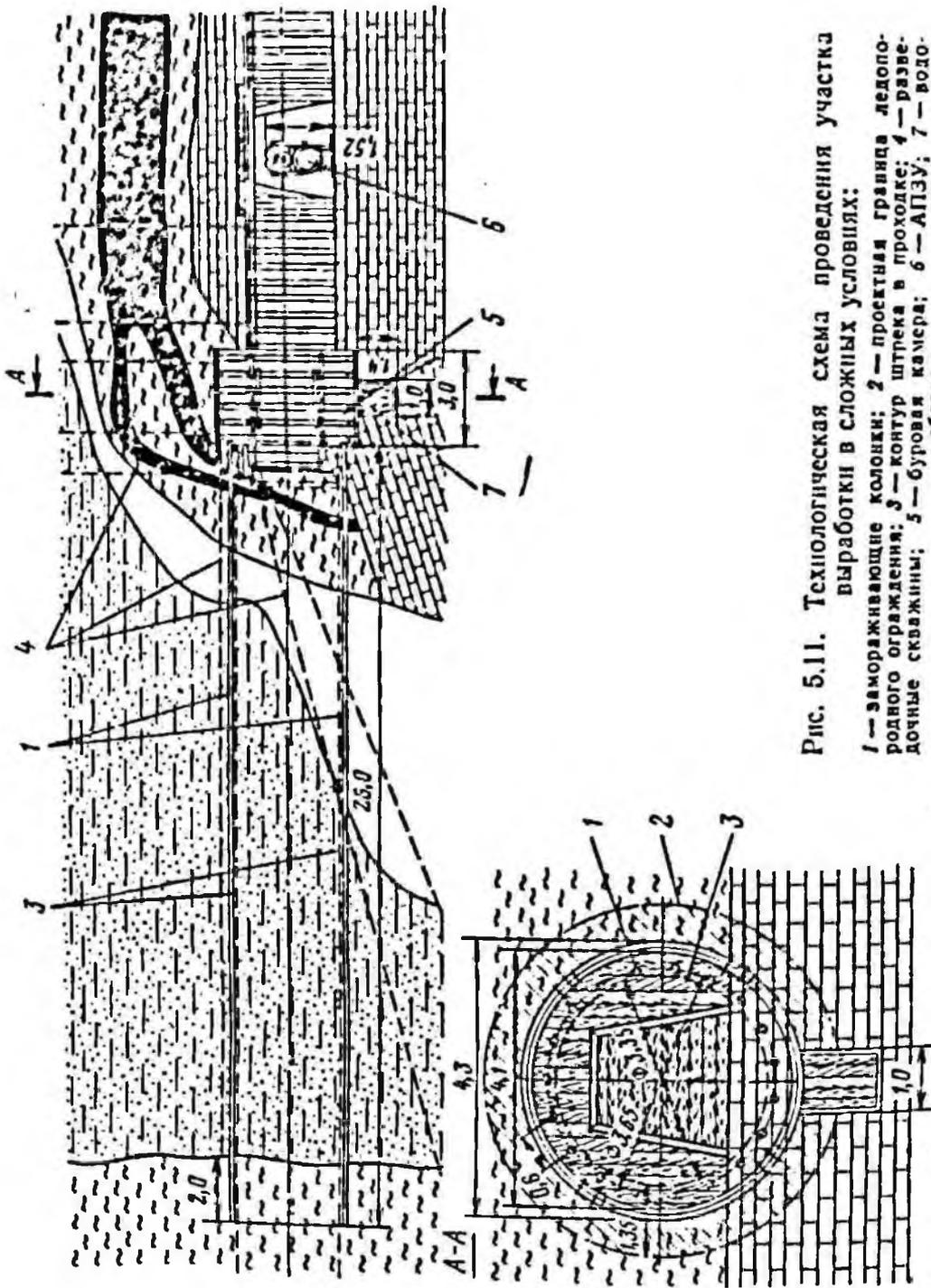


Рис. 5.11. Технологическая схема проведения участка выработки в сложных условиях:

1 — замораживающие колонки; 2 — проектная граница ледопородного ограждения; 3 — контур штрека в проходке; 4 — разведочные сваи; 5 — буровая камера; 6 — АПЗУ; 7 — водосборник

смен). После проходки с применением пассивного замораживания крепь сложного участка была взята в бетон. Трудоемкость этой операции с приготовлением раствора на месте составила 135 чел-смен.

Следует отметить, что расположение АПЗУ в обособленной камере (см. рис. 5.11) не является типичным. Обычно она располагается непосредственно у места производства работ на одном из путей в двухпутных выработках или на разминовке в однопутных выработках. В тех случаях, когда такие решения по каким-либо причинам неприемлемы, а требуется применение пассивного замораживания, АПЗУ располагают в имеющихся или специально пройденных выработках, как показано в приведенной схеме.

Это же карстовое нарушение было встречено в 5-м западном конвейерном штреке. В результате проявления горного давления крепь в районе нарушения разрушилась и штрек на протяжении 30 м был заплывунен. При попытке проходки карстового нарушения встречным забоем также произошел прорыв обводненных песчано-глинистых пород. Зачистить штрек от пльвуна не удалось, поэтому применили замораживание. Очаги прорывов перекрыли системой из 14 замораживающих колонок, и под защитой образованного ледопородного ограждения сложный участок длиной 13,5 м был пройден с высвобождением заплывуненного комбайна ПК-3.

В период строительства шахты «Владимировская» при проведении грузовой ветви вспомогательного ствола произошел прорыв пород пльвунного типа. Дальнейшая проходка обычным способом и с помощью забивной крепи не представлялась возможной. Была предпринята попытка пройти эту выработку встречным забоем, но и она не увенчалась успехом. Затем решили применить фазовый способ, однако выработка первой фазы, пройденная по плотным глинам, была задавлена и, что самое главное, эти породы не поддавались осушению. В течение почти двух лет участок длиной 30 м оставался не пройденным. Положение осложнялось еще и тем, что над этим местом на поверхности уже был построен блок вспомогательного ствола и даже небольшой выпуск пльвуна мог привести к нежелательным результатам.

В связи с этим было принято решение пройти сложный участок с применением технологии подземного замораживания. Из-за невозможности сооружения буровой камеры (наличия в зоне уширения пльвунных пород) была принята веерообразная схема заложения 15 замораживающих колонок на глубину до 35 м из забоя выработки с перекрытием пльвуна в ее верхней части до устойчивых пород.

Отсутствие надлежащего маркшейдерского контроля при заложении замораживающих скважин привело к тому, что не бы-

ли соблюдены заданные их направления и протяженность, поэтому конечные расстояния между забоями скважин (без учета их искривления в процессе бурения) значительно превышали проектные. Опытным путем (когда представлялась возможность подсечь забой скважин горной выработкой) установлено, что при вращательном бурении таких скважин станком ДС-4 они отклоняются от проектного положения вправо и вниз (по направлению бурения) на величину, не превышающую 2% при длине 25—26 м. Поэтому при установке бурового станка (кондукторов) необходимо делать соответствующие упреждения.

Со стороны вентиляционного ствола в места отсутствия колонок или завышенного расстояния между ними заложили 14 дополнительных замораживающих колонок на глубину 7—10 м встречным веером, а АПЗУ с 15 замораживающими колонками со стороны вспомогательного ствола была запущена в работу. После окончания проектного срока активного замораживания дополнительные колонки были подключены к АПЗУ теплоизолированным рассолопроводом, проложенным по выработке первой фазы, а основные переведены на режим пассивного замораживания. Проходка сложного участка под защитой ледопородного ограждения завершилась без осложнений.

Опыт показывает, как важно обеспечить правильность начального расположения и направления замораживающих скважин, для чего необходимо вести маркшейдерский контроль за их разметкой, глубиной, установкой кондукторов и бурового станка. Отклонения от проектного расположения замораживающих колонок в массиве приводят к существенному увеличению сроков производства специальных работ (время замораживания прямо пропорционально квадрату расстояния между колонками) и их стоимости, что отрицательно сказывается на общих технико-экономических показателях строительства или эксплуатации шахты.

Опыт подземного замораживания на шахте «Западная» показал, что необходимо соблюдать восходящий порядок очередности бурения скважин. В противном случае при бурении нижних скважин из-за выноса пород с промывочным раствором может происходить образование пустот под ранее пробуренными скважинами и деформация обсадных труб под действием подвижки пород и горного давления.

В 20—25% случаев подземное замораживание применяется при перекреплении горных выработок для обеспечения нормальных зазоров между крепью и подвижным составом, а также при их восстановлении в районе прорывов обводненных песчано-глинистых пород. Так, на шахте «Покровская» в 17-м восточном откаточном штреке в районе геологического нарушения под воздействием горного давления разрушилась железобетонная замкнутая крепь и часть штрека была заплывунена. Применяя забив-

ную крепь, удалось восстановить участок штрека протяженностью 25—30 м, из-за резко ухудшившихся условий в районе очага прорыва участок протяженностью 7 м остался невосстановленным. Химическое упрочнение также не дало положительных результатов. Восстановили выработку только с помощью подземного замораживания. Следует отметить, что условия заложения замораживающих колонок из-за наличия в этой зоне поломанной крепи, металлических шпунтов и химических инъекторов были весьма затруднительными. Такое положение довольно часто сопутствует проведению буровых работ для подземного замораживания. Поэтому для выбора обоснованного эффективного специального способа для конкретных условий очень важен процесс проведения инженерно-геологических изысканий. В противном случае резко возрастают материальные, трудовые затраты и увеличиваются сроки производства работ. Перекрепление и восстановление выработок с помощью подземного замораживания осуществлялись также на шахтах «Подлесная», «Бородинская», «Бельковская», «Середейская», «Подмосковная» и др.

Иногда при проходке участка требуется и перекрепление. На шахте «Львовская» ПО «Новомосковскуголь» в 9-м южном главном откаточном штреке для обеспечения транспортных операций при спецпроходке 172 м потребовалось перекрепить участок протяженностью 11 м тоже способом подземного замораживания. Эта выработка, предназначенная для вскрытия обособленной линзы угольной залежи, встретила обводненные неустойчивые породы. Отступив на расстояние около 40 м от места прорыва, начали проходить обходную выработку на расстоянии 15 м от основного направления (рис. 5.12). Однако и здесь на пикете 65 вместо глины в забое и кровле появились обводненные глинистые пески, в которых дальнейшее проведение выработки обычным способом и с помощью забивной крепи привело к «потере» сечения.

К тому же имели место прорывы обводненных пород, поэтому, отступив 3 м от забоя, была возведена перемычка. По рекомендации Подмосковского НИУИ дальнейшую проходку штрека осуществляли с применением технологии подземного замораживания.

Проходку сложного участка осуществили и 10 заходок замораживания протяженностью от 7 до 25 м. Первоначально отсутствие опыта, навыков в выполнении спецработ, нарушения технологической дисциплины (выполнение операций с отступлением от проектных параметров и соответствующих инструктивных материалов) привели к тому, что длина заходок замораживания не превышала 16 м. Только на 5-й заходке замораживания сделали уширение штрека под буровую камеру и перешли на рекомендуемую схему заложения замораживающих колонок (см.

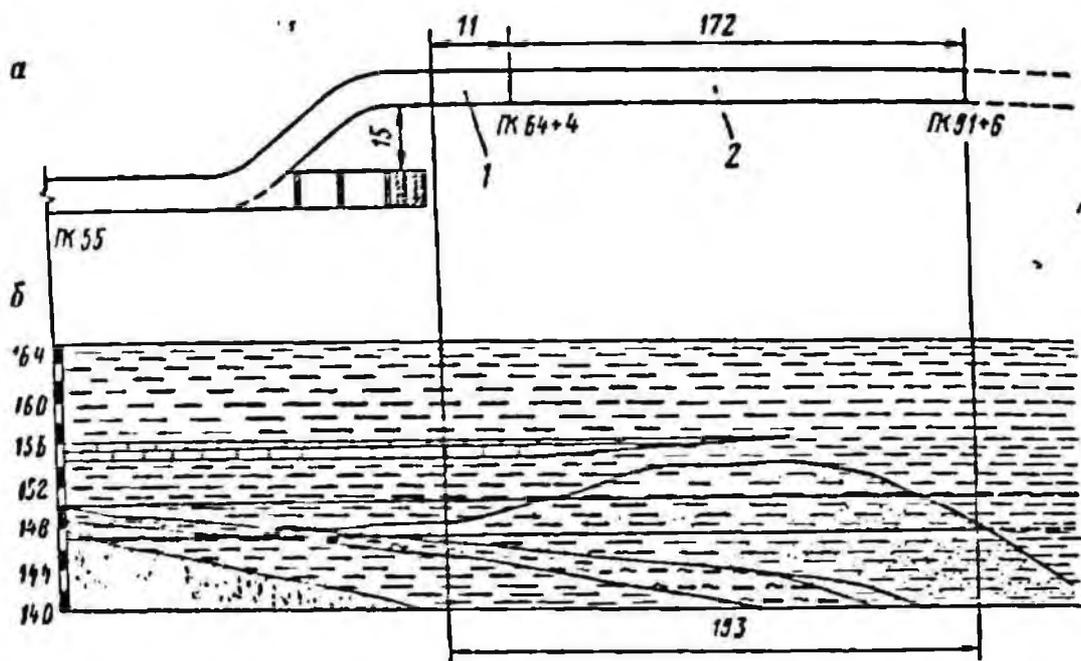


Рис. 5.12. Схема проведения участка выработки в сложных условиях (а) и геологический разрез по оси выработки (б):

1 и 2 — перекрепляемый и вновь проходящий участки выработки соответственно

рис. 5.4). Это позволило (наряду с совершенствованием методов и средств выполнения спецработ) последними пятью заходками замораживания пройти участок штрека длиной 118 м и сократить на 11% время, затраченное на проходку первых 54 м. При этом средневзвешенная производительность заложения замораживающих колонок увеличилась с 12,27 до 29,43 м/сут, а средневзвешенный срок их заложения сократился с 26 сут при средней длине сложного участка 10,8 м до 19 сут при длине сложного участка 23,5 м.

При разработке замороженных пород двумя отбойными молотками и ручной погрузкой средневзвешенная скорость проходки штрека составляла 0,6 м/сут. Применение проходческого комбайна типа ПК-3М позволило увеличить ее в 3,3 раза и довести до 2 м/сут, сократив на 75—80% трудоемкость работ.

Опыт проходки сложного участка длиной 172 м на шахте «Львовская» ПО «Новомосковскуголь» показал, что время цикла спецработ и проходки 25 м штрека по самым лучшим достигнутым временным показателям по отдельным технологическим операциям может составить 66 сут, т. е. в год можно делать пять заходов замораживания с общей проходкой на забой 125 м. И при этом еще имеются резервы повышения темпов как за счет устранения организационных недостатков, так и за счет дальнейшего совершенствования технологии.

Технологии подземного замораживания при проведении и а-клонных горных выработок, как показывает практика, при-

суши некоторые специфические особенности. Во время замораживания неустойчивого обводненного подугольного песка на шахте «Нелидовская» в восстающих замораживающих колонках, заложенных параллельно оси выработки под углом  $14^\circ$ , периодически образовывались воздушные пробки в их забойной части и циркуляция по ним рассола прекращалась. Поэтому наряду с профилактическими мерами против образования воздушных пробок (ежесменный осмотр сальника рассольного насоса, опускание сливной магистрали от коллектора в рассольную емкость ниже рабочего уровня рассола) оборудовали на сливе колонок вентили для периодического спуска воздуха. В результате этого процесс теплопередачи в колонках протекал нормально. Впоследствии на некоторых наклонных выработках для ликвидации воздушных пробок в колонках ставили последовательно второй рассольный насос К-60 или заменяли их на насос с повышенным напором.

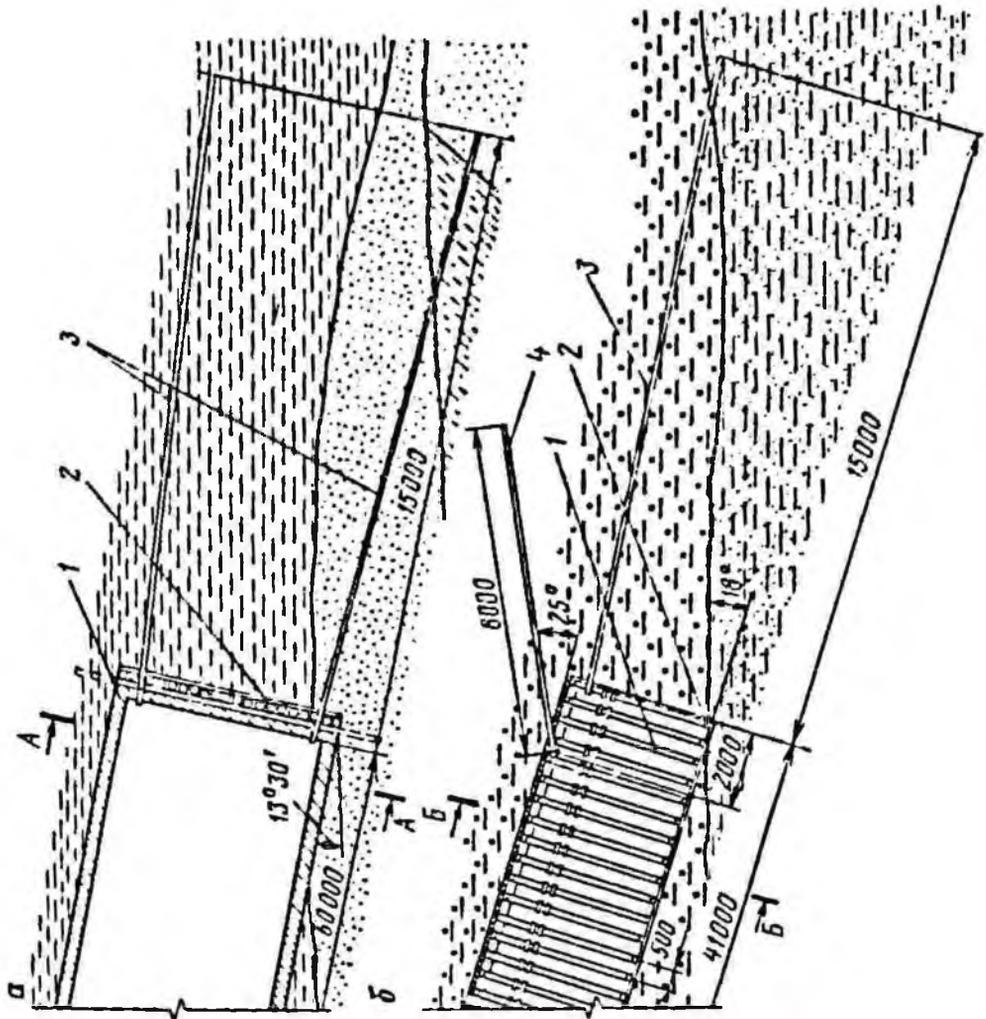
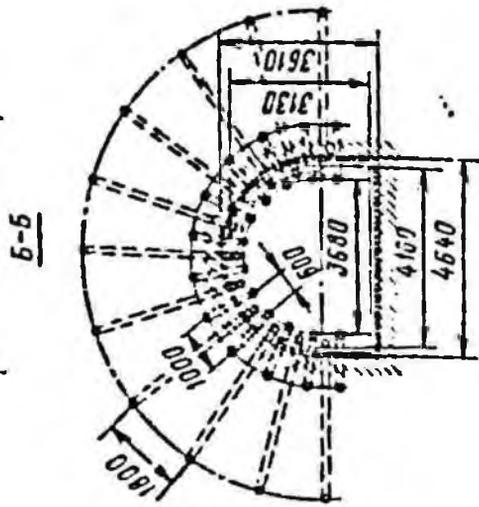
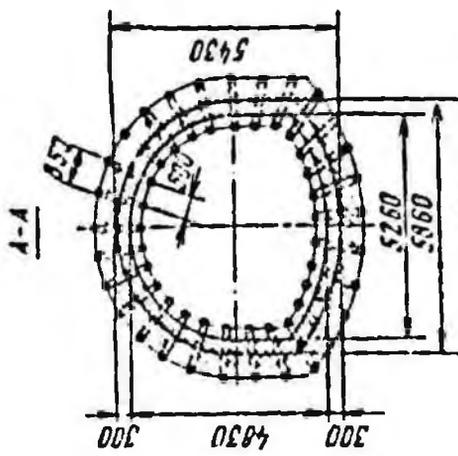
На проходке наклонных стволов при реконструкции шахт «Кировская-Западная» ПО «Советскуголь» и им. Артема ПО «Ростовуголь» в Донецком бассейне после сооружения устья ствола встретились неустойчивые обводненные породы, переход которых обычными способами не представлялся возможным. В обоих случаях сложные участки пытались пройти открытым способом с помощью котлована, но обводненные породы, обладающие низкими фильтрационными свойствами, оплывали и не давали возможности осуществить намеченные работы.

Анализ возможных вариантов стабилизации таких неустойчивых водоносных пород выявил предпочтительность технологии подземного замораживания. В обоих стволах до начала спецработ была воздвигнута постоянная крепь и забетонирована грудь забоя. Поскольку уширить стволы под буровые камеры в забойной части не представилось возможным из-за оплывания пород, то замораживающие колонки закладывались веерообразно из сечения ствола. Схема их расположения показана на рис. 5.13.

На шахте им. Артема забой сразу же вскрывал неустойчивые обводненные породы, поэтому для создания в призабойной части безопасных условий проходки было заложено 11 дополнительных колонок под углом  $25^\circ$  по отношению к оси ствола.

В связи с незначительным заглублением стволов отпала необходимость изготовления АПЗУ и была использована одна из базовых холодильных машин МКТ 220-2-2 с размещением ее на земной поверхности.

Успешный опыт проведения этих наклонных стволов с помощью подземного замораживания показывает, что применение других методов и средств, не обеспечивающих эффективную стабилизацию неустойчивых водоносных пород, приводит к зна-



чительным материальным, трудовым затратам и приостанавливает на длительные сроки строительство горных объектов.

Проходка стволов и других вскрывающих выработок при строительстве и реконструкции шахт довольно часто связана с пересечением локальных зон с породами пльвунного типа, поэтому в конкретных горнотехнических и гидрогеологических условиях необходимо не только правильно оценить создающуюся ситуацию, но и правильно обосновать выбор того или иного варианта искусственного замораживания (в случае, когда другие спецспособы не дали положительных результатов). Это можно проследить на опыте проведения вертикальных горных выработок.

При проходке вертикального вентиляционного ствола № 4 шахты «Воркутинская» ПО «Воркутауголь» необходимо было пересечь слой обводненных мелкозернистых песков пльвунного типа мощностью 7 м. Техническим проектом, разработанным проектной конторой треста «Шахтспецстрой», проходка этих песков в интервале отметок 51,4—58,5 м предусматривалась с помощью искусственного замораживания вертикальными колонками, заложенными с земной поверхности. Однако для данных условий (небольшая мощность обводненных песков и значительная глубина их залегания) этот вариант стабилизации песков является трудоемким и относительно дорогим.

Поэтому было принято решение осуществить проходку ствола в этом интервале с применением скважин — сквозных фильтров для перепуска воды из песков на нижележащий водоносный горизонт. Пески мелкозернистые с прослойками супесей, талые, водоносные с коэффициентом фильтрации 0,2 м сут. Статический напор воды на отметке 58,5 м составляет 35 м.

До глубины 45 м проходка ствола осуществлялась обычным способом без особых осложнений. При дальнейшей проходке выяснилось, что осушение через скважины-фильтры оказалось неэффективным. Через эти скважины начался вынос песка в забой ствола и увеличился приток воды до 20 м<sup>3</sup>/ч. Бетонная крепь ствола на высоту 10 м выше забоя начала деформироваться (появились трещины). Проходка была остановлена, и в забое ствола уложили бетонную подушку.

Создавшееся положение при проходке ствола потребовало выработки конкретных решений.

Анализ горнотехнических и гидрогеологических условий проходки сложного участка ствола показал, что дальнейшую про-

---

Рис. 5.13. Схемы расположения замораживающих колонок при проходке наклонных стволов в шахтах «Кировская-Западная» (а) и им. Артема (б):  
1 — крепь ствола; 2 — затяжка груди забоя; 3 — основные замораживающие колонки; 4 — дополнительная замораживающая колонка

ходку необходимо осуществлять только способом искусственного замораживания. При этом были рассмотрены следующие технологии: замораживание жидким азотом, сжатым воздухом (с помощью турбохолодильной машины МТХМ-1-25) и подземное замораживание. Рассматривался также вариант использования в качестве источника холода наземной передвижной замораживающей установки ПХС-100.

Сопоставление результатов технико-экономических расчетов с учетом технических, экономических и организационных факторов позволило выбрать для проходки сложного участка ствола технологию подземного замораживания.

Схема расположения замораживающих колонок и контуры ледопородного ограждения показаны на рис. 5.14.

В качестве источника холода использована низкотемпературная холодильная машина МКТ 220-2-2, служащая базовой в АПЗУ-4. При этом рассматривались два варианта: расположение АПЗУ на проходческом полке и на земной поверхности. Их анализ показал, что в конкретных горнотехнических условиях предпочтительнее расположить замораживающую установку в районе устья ствола.

По окончании срока активного замораживания проходка ствола возобновилась и под защитой ледопородного ограждения сложный участок был пройден без осложнения.

Применение варианта замораживания пород из забоя ствола позволило значительно сократить сроки производства специальных работ и снизить их сметную стоимость на 21,6 тыс. руб. по сравнению с вариантом треста «Шахтспецстрой» при замораживании пород вертикальными колонками, заложенными с земной поверхности.

Имеется опыт проходки водопонижительных колодцев в породах плавунного типа, что наряду с вышесказанным подтверждает универсальность технологии подземного замораживания.

На рис. 5.15 приведены зависимости стоимости 1 м выработки по специальным работам от длины замораживаемого участка на глубине 60—70 м, полученные по результатам исследований в Подмосковном бассейне. Анализ показывает, что стоимость замораживания пород по технологии замораживания из забоя проводимой выработки в 5—5,6 раза ниже, чем при замораживании в аналогичных условиях вертикальными колонками, заложенными с земной поверхности, и размещении замораживающей станции на поверхности.

Это подтверждает экономическую целесообразность данного прогрессивного специального способа.

Все работы по изысканию, проектированию, расчету и производству специальных работ выполнялись согласно положениям «Руководства по технологии проведения и перекрепления торных выработок с применением подземных передвижных за-

К замораживающей установке

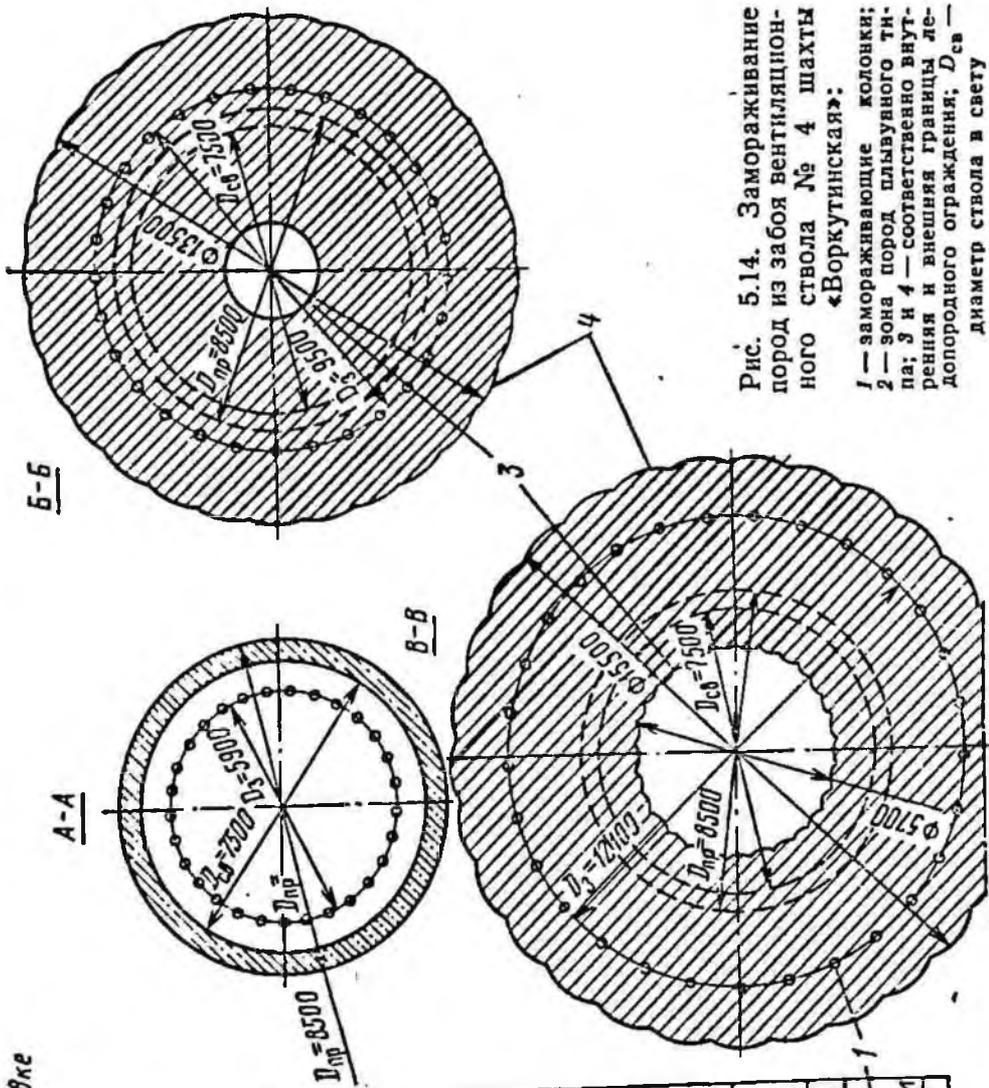
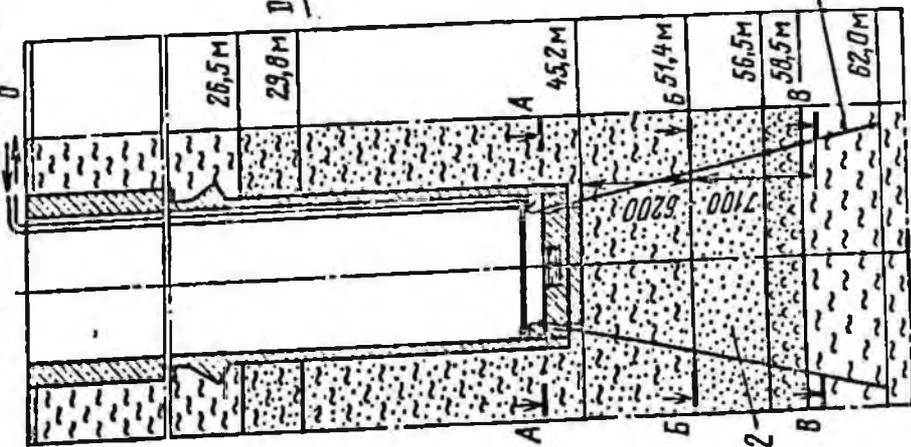


Рис. 5.14. Замораживание пород из забоя вентиляционного ствола № 4 шахты «Воркутинская»:

- 1 — замораживающие колонки;
- 2 — зона пород плавящего тина;
- 3 и 4 — соответственно внутренняя и внешняя границы дополнительного ограждения;  $D_{ст}$  — диаметр ствола в свету

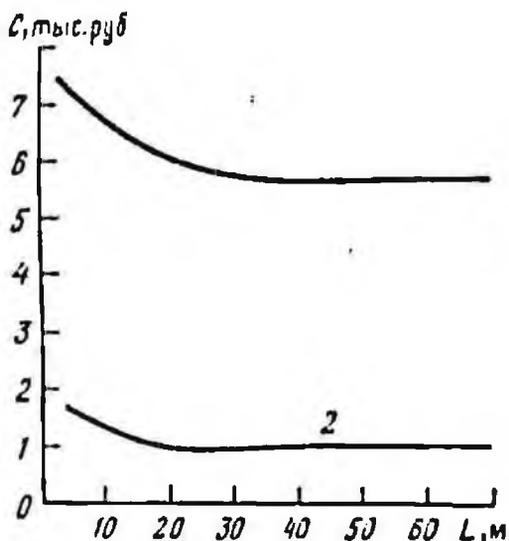


Рис. 5.15. Зависимость стоимости 1 м выработки по специальным работам  $C$  от длины замораживаемого участка  $L$ :

1 — замораживание пород вертикальными колонками, заложенными с земной поверхности; 2 — замораживание пород колонками, заложенными из забоя проводимой выработки

морозящих установок для шахт, не опасных по газу и пыли», разработанного Подмосковным НИУИ и утвержденного Минуглспромом СССР. Его методические указания, расчетные формулы и инструктивный материал позволили наиболее эффективно осуществить проходку сложных участков горных выработок и получить планируемые результаты.

Успешное применение технологии подземного замораживания при проведении (перекреплении) горизонтальных, наклонных и вертикальных горных выработок на шахтах отрасли позволяет рекомендовать этот прогрессивный, универсальный и надежный специальный способ для использования в других областях народного хозяйства, где осуществляется подземное строительство в особо сложных гидрогеологических условиях.

Совершенствование технологии подземного замораживания необходимо вести в направлении создания высокопроизводительных и экономичных средств заложения замораживающих колонок, разработки эффективных методов и приборов контроля за технологическими операциями, создания конструкций замораживающих колонок или средств, обеспечивающих интенсивную и рациональную теплопередачу, перехода на более низкие температуры замораживания.

### 5.3. Упрочнение горных пород химическим способом при проведении и поддержании выработок

В СССР и за рубежом проводятся работы по исследованию укрепляющих растворов и применению их в угольной и горнорудной промышленности. В связи с крупными успехами отечественной химии стало возможным упрочнение мелкозернистых песков, трещиноватых пород и угольного пласта синтетическими смолами.

Химическое упрочнение может осуществляться двумя способами — принудительным нагнетанием укрепляющего раствора через шпур в трещиноватые и мелкозернистые породы и химическим анкерованием с помощью скрепляющего состава, находящегося в ампулах.

В Подмосковном угольном бассейне для нужд горного производства необходима стабилизация песков и угольного пласта при проведении и поддержании выработок различного назначения.

**Химическое упрочнение неустойчивых песков.** Сущность химического способа упрочнения состоит в предварительном нагнетании в песок водного раствора синтетической (карбамидной) смолы с отвердителем. После превращения раствора смолы в полимер (реакция поликонденсации при смешивании карбамидной смолы с кислотным отвердителем) образует прочный водонепроницаемый материал.

Химическое упрочнение применяется в песках с коэффициентом фильтрации выше 0,5 м/сут при содержании глинистых фракций и карбонатности до 4% по массе. Для решения вопроса о технической возможности химического упрочнения песков на конкретном участке необходимо получить в результате инженерно-геологических изысканий следующие исходные данные:

геологический профиль сложного участка и стратиграфическую колонку по забюю;

сведения о водопитоке на упрочняемом участке;

гранулометрический состав песка;

пористость, коэффициент фильтрации и карбонатность песка;

pH (водородный показатель) водной вытяжки из песка;

pH воды из ближайшего фильтра или противопожарного става;

результаты опытного закрепления песков в лабораторных условиях.

Отбор образцов песка массой до 2 кг производится не менее чем с трех точек непосредственно в месте работ (при этом верхние слои по возможности очищаются). Для определения естественной влажности пробы песка массой до 50 г отбираются в металлические бюксы с плотно закрывающейся крышкой. Анализы песка и воды проводятся в лабораторных условиях по общепринятым методикам.

Критерии пригодности песков для химического упрочнения следующие:

мощность закрепляемого слоя песка должна составлять не менее 0,5—0,7 м;

для упрочнения по однокомпонентной схеме (в иньектор подаются заранее смешанные смола и отвердитель) считаются пригодными пески-сыпуны, влажные, водонасыщенные при отсутствии видимого фильтрационного потока, а по двухкомпо-

пентной схеме (смола и отвердитель смешиваются в инжекторе) пригодны пески со скоростью фильтрационного потока до  $U \leq 0,8$  м/сут;

коэффициент фильтрации песка в массиве составляет не менее 0,5 м/сут (половинное значение лабораторного показателя  $K$  образцов — поправочный коэффициент определен по методу Слехтера с учетом минимальной пористости песков в естественном состоянии);

рН водной вытяжки песка должен быть в пределах 2—8,5;

рН воды, используемой для приготовления растворов, должен быть в пределах 6—7,5.

После получения положительного решения о возможности химического упрочнения песков разрабатывается проект на производство работ, который утверждается главным инженером предприятия. Помимо обязательных положений технорабочего проекта он должен включать в себя следующие параметры и технологические рекомендации.

Необходимая толщина упрочненного песка в замке (месте смыкания цилиндрических тел закрепленного песка вокруг отдельных шпуров) рассчитывается по формуле (5.16), где допускаемое длительное напряжение закрепленного песка при одноосном сжатии можно принимать по результатам лабораторных и опытно-промышленных исследований ПНИУИ:  $[\sigma_{сж.дл}] = 1 \div 2$  МПа.

Для средних условий по поддержанию выработок в Подмосковном бассейне, характеризующихся давлением на крепь  $q = 0,06 \div 0,12$  МПа, при проведении подготовительных выработок толщина упрочненной зоны песка  $E = 0,2 \div 0,4$  м.

Радиус распространения закрепляющего раствора (м) определяется по формуле

$$R = \sqrt[3]{V / (\pi l_{\phi} n f)}, \quad (5.38).$$

где  $V$  — объем закачанного раствора, м<sup>3</sup>;  $l_{\phi}$  — длина фильтрующей части шпура (скважины), м;  $n$  — пористость песка;  $f$  — коэффициент заполнения пор раствором.

При упрочнении мелкозернистых песков ( $K = 0,8 \div 3$  м/сут,  $n = 0,26$  и  $f = 0,6$ ) радиус распространения раствора (для скважины длиной 2 м объем раствора  $V = 0,03$  м<sup>3</sup>, а для скважин длиной 4 м  $V = 0,08 \div 0,15$  м<sup>3</sup>)  $R = 0,2 \div 0,35$  м. Эти значения радиуса закрепления песков кровли для условий проходки выработок наиболее рациональны; при меньших значениях увеличивается объем буровых работ, а при большей величине значительная часть упрочненной зоны попадает в сечение и повышает трудоемкость разработки забоя.

По величине радиуса распространения раствора и необходимой толщины упрочненного массива определяется расстоя-

ние между инъекционными скважинами:

$$l = 2\sqrt{R^2 - (E/2)^2}, \quad (5.39)$$

где  $l$  — расстояние между инъекционными скважинами, м.

В зависимости от вязкости закрепляющего раствора и физико-механических свойств песков эти расстояния, по данным шахтных исследований, составляют 0,3÷0,65 м.

Для стабилизации в скрепляющий состав входят следующие компоненты:

карбамидные смолы марок КФ-Ж, КФ-МТ и КС-11, выпускаемые в виде водных растворов с условной вязкостью 120—180 с (по вискозиметру ВЗ-4) и содержанием сухого остатка около 68%;

отвердители — 21%-ный водный раствор хлористого аммония (плотность 1050—1060 кг/м<sup>3</sup>) и 5%-ный водный раствор щавелевой кислоты (плотность 1014—1018 кг/м<sup>3</sup>).

Для растворения компонентов скрепляющего состава следует применять нейтральную или близко к нейтральной воду (рН=6,5÷7,5) без механических примесей. Растворы смол в зависимости от степени разбавления водой (по сухому остатку, указанному в сертификате на данную партию смолы) придают закрепленным пескам прочность: при 1:1  $\sigma_{сж} = 5\div 10$  МПа; при 1:1,5  $\sigma_{сж} = 2\div 5$  МПа; при 1:2  $\sigma_{сж} = 1\div 2$  МПа.

Время отверждения раствора определяется проектом в зависимости от технологических и организационных факторов и регулируется в широких пределах количеством отвердителя, который берется в процентах от сухого остатка.

При двухкомпонентной схеме нагнетания рекомендуется принимать максимально короткое для конкретных условий время гелеобразования (заметное увеличение вязкости) — 10—15 мин. При однокомпонентной схеме подбирают растворы со временем гелеобразования, равным 30—60 мин, при температуре 20 °С, а в шахтных условиях при 10 °С это время увеличится до 50—90 мин. Перед началом работ опытным путем производится уточнение времени гелеобразования скрепляющего раствора.

Начальное давление нагнетания определяется фильтрационными свойствами песков:

$$\begin{aligned} \text{при } K \leq 3 \text{ м/сут} \quad P_n &= 0,3\div 0,6 \text{ МПа;} \\ \text{при } K > 3 \text{ м/сут} \quad P_n &= 0,7\div 1 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Затем давление постепенно увеличивается в зависимости от степени насыщения упрочняемого массива. Но оно не должно превышать предельных значений, определяемых по эмпирической формуле ВИОГЕМа:

$$P_n \leq (0,0077\div 0,0114) \gamma H, \quad (5.40)$$

где  $\gamma$  — удельный вес горных пород, МН/м<sup>3</sup>;  $H$  — глубина залегания упрочняемых пород, м.

Для средних условий шахт Подмосковного бассейна предельные значения давления нагнетания  $P_n = 1,8 \div 2$  МПа. При больших его значениях возможен гидроразрыв сплошности песка и водоупоров, что может привести к прорыву обводненных пород в горную выработку.

Химическое упрочнение угольного пласта или трещиноватых пород осуществляется путем нагнетания скрепляющего раствора или путем химического анкерования, в результате чего связываются блоки угля или породы, повышая тем самым общую устойчивость углепородного массива. Тот или иной метод введения полимера в угольный пласт или породу выбирается в зависимости от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий, а также технологических возможностей и экономической целесообразности средств упрочнения.

Для решения вопроса о технической возможности химического упрочнения угольного пласта в конкретных условиях приемлемы те же критерии, что и для упрочнения песков с добавлением сведений о нарушенности (кусковатости, трещиноватости) угольного пласта. После получения положительного решения составляется проект производства работ.

Лабораторные и опытно-промышленные исследования на шахтах Подмосковного бассейна позволили установить основные параметры упрочнения угольного массива:

радиус распространения закрепляющего раствора вокруг одиночной скважины при его нагнетании составляет 1,5—2 м, при химическом ампульном анкеровании — 10—15 см;

радиус распространения определяет расстояние между инъекционными скважинами, расположенными в шахматном порядке в случае нагнетания — 2—2,5 м между скважинами, 1—1,5 м между рядами;

при ампульном анкеровании расстояние между скважинами в ряду и между ними составляет 0,5—1 м в зависимости от трещиноватости массива;

в случае повышенной влажности массива (рабочая влажность более 40%) применение химического анкерования с помощью пенополиуретана не рекомендуется;

количество укрепляющего раствора, нагнетаемого в одну скважину, зависит от длины фильтрующей части скважин, трещиноватости пласта и по опытным данным составляет 20—150 л для скважины с  $l_{\phi} = 4$  м;

число ампул для химического закрепления анкера определяется в каждом конкретном случае опытным путем и по данным практики составляет 4—6 штук на шпур длиной 2 м.

Для закрепления угольного пласта методом нагнетания применяют карбамидные скрепляющие растворы, вспенивающие при отверждении, что улучшает их технологические и физико-механические свойства (проникающую способ-

ность, деформационные свойства, повышение адгезии к углю или породе, снижение усадки). Они состоят из следующих компонентов:

карбамидная смола КФ-МТ, КФ-Ж, КС-11;

отвердитель — 10%-ный раствор фосфорной кислоты (плотность 1050—1060 кг/м<sup>3</sup>);

алюминиевая паста, состоящая из алюминиевой пудры ПАП-1 и поверхностно-активного вещества ОП-7 или ОП-10.

Время отверждения скрепляющих растворов регулируется количеством отвердителя и должно быть не более 30—40 мин. Предел прочности отвержденных растворов, по данным лабораторных и шахтных исследований, составляет:  $\sigma_{сж} = 7—9$  МПа,  $\sigma_{раст} = 1,2—1,4$  МПа и  $\sigma_{изг} = 2,3—2,6$  МПа.

При нагнетании скрепляющего раствора в угольный пласт или породу в скважину глубиной 4 м обычно вставляется деревянный стержень длиной 2,5—3 м, а затем иньектор-герметизатор.

Начальное давление нагнетания составляет 1—1,5 МПа, которое постепенно увеличивается в зависимости от насыщения массива. Скорость подачи раствора в пласт при этом составляет 6—10 л/мин. По результатам экспериментальных исследований давление нагнетания при упрочнении угольного пласта не превышало 1,5—2,5 МПа, а время — 20 мин (на одну скважину). Нагнетание прекращается при значительном снижении скорости подачи раствора или резком подъеме давления в системе.

Если упрочнение массива проводится нагнетанием через скважины, расположенные на высоте в несколько рядов, то в первую очередь раствор подается в нижний ряд скважин и затем в восходящем порядке.

**Технологическое оборудование.** В комплект технологического оборудования и средств, применяемых при химическом упрочнении песков и трещиноватых массивов, входят буровое оборудование и инструмент, нагнетательная установка, емкости и оборудование для приготовления растворов отвердителя и смолы (расходная емкость), высоконапорная магистраль, иньекторы-герметизаторы и шпуровые пробки.

Бурение иньекционных шпуров рекомендуется осуществлять электро- или пневмосверлами с использованием составных штапг и угольных (породных) резцов. Скважины на глубину более 6 м бурятся станками или колонковыми сверлами.

Пока отечественная промышленность не выпускает специального оборудования для нагнетания химических укрепляющих растворов, необходимо использовать оборудование, применяемое для других целей, на основе шестеренных, плунжерных, мембранных и других типов насосов. На шахтах Подмоскoвного бассейна при химическом упрочнении наибольшее распространение

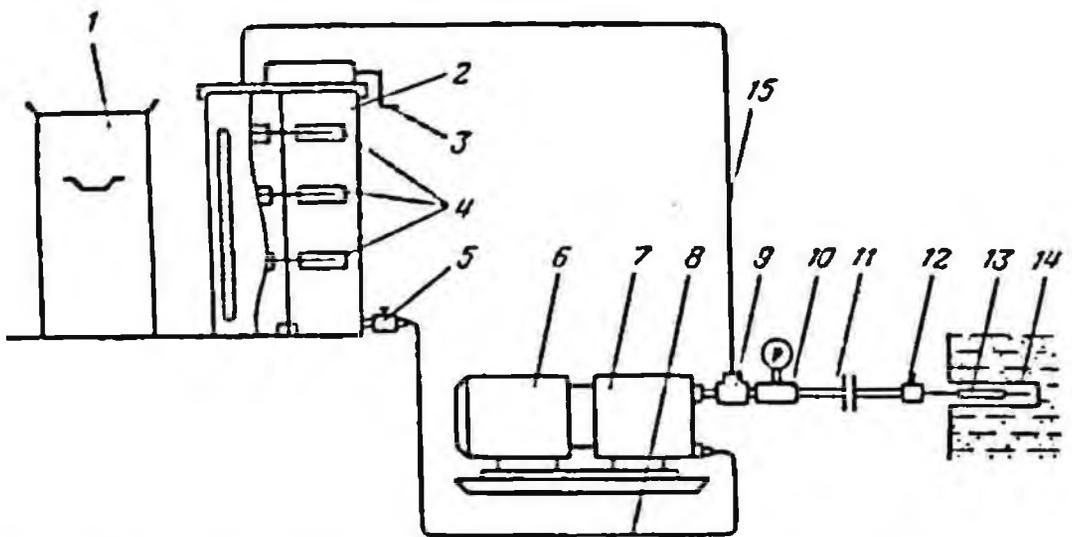


Рис. 5.16. Схема установки на базе шестеренного насосного агрегата 32-2 (БГВ 11-23) для нагнетания скрепляющего состава по однокомплексной схеме: 1 — емкость для приготовления отвердителя; 2 — емкость для приготовления состава (расходная емкость); 3 — ручка мешалки; 4 — лопасти; 5 — вентиль  $1\frac{1}{2}$ ; 6 — электродвигатель; 7 — насос; 8 — всасывающий шланг; 9 — кран; 10 — демпфер; 11 — высоконапорный шланг; 12 — кран разгрузки инжектора-герметизатора; 13 — шланговый герметизатор; 14 — шпур; 15 — рециркуляционный шланг

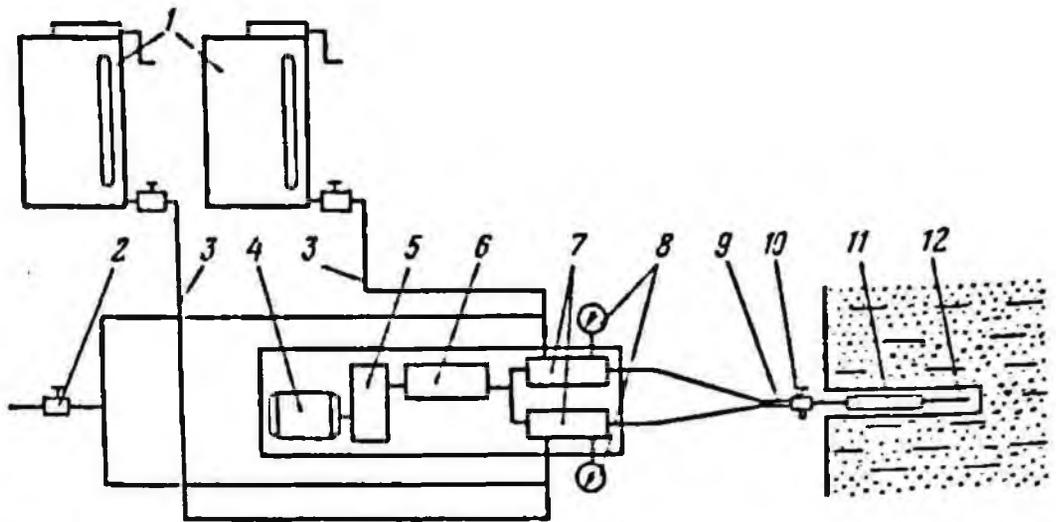


Рис. 5.17. Схема двухкомпонентного нагнетания скрепляющих составов с применением КХУ:

1 — расходные емкости для смолы и отвердителя; 2 — шланг подвода воды; 3 — всасывающие шланги; 4 — электродвигатель; 5 — редуктор; 6 — варнатор; 7 — поршневые насосы ГН-200; 8 — манометры; 9 — смеситель; 10 — кран разгрузки инжектора-герметизатора; 11 — герметизатор; 12 — шпур

получила нагнетательная установка на базе шестеренных насосов типа НШ, принципиальная схема которой для однокомпонентного варианта показана на рис. 5.16. Могут применяться и другие виды насосных агрегатов, например, типа НД, ХТР, ВРП [13]. На высоконапорной стороне насоса предусматривается ма-

номер и трехходовой кран, имеющий положения «Нагнетание» и «Рециркуляция».

При установке крана в положение «Нагнетание» скрепляющий состав подается в массив, а при положении «Рециркуляция» — циркулирует в замкнутой системе «расходная емкость — насос — рециркуляционный шланг — расходная емкость». Для уменьшения давления нагнетания возможно промежуточное положение рукоятки крана, т. е. в процессе нагнетания часть скрепляющего раствора подается на рециркуляцию.

Для нагнетания скрепляющих составов по двухкомпонентной схеме, которая обеспечивает минимальное время отверждения растворов, столь необходимое при упрочнении песков с фильтрующей водой, возможен вариант использования двух шестеренных или поршневых насосов. Они работают синхронно от одного привода с различной подачей смолы и отвердителя (например, в соотношении 2 : 1). Принципиальная схема двухкомпонентного нагнетания скрепляющих составов с использованием комплекта оборудования для химического упрочнения КХУ, разработанного Подмосковным НИУИ, приведена на рис. 5.17. Основными элементами нагнетательной установки являются электродвигатель, вариатор для плавного изменения производительности от минимума до максимума, редуктор, поршневые насосы ГН-200, инжекторы-герметизатора, расходные емкости для смолы и отвердителя. Регулировка их объемного соотношения происходит путем изменения хода поршней насосов.

Высоконапорная магистраль монтируется от нагнетательной установки до места проведения работ по химическому упрочнению и представляет собой соединение мерных отрезков высоконапорных шлангов с условным проходом 16 или 20 мм. От водородного става к всасывающим патрубкам насосов подводится техническая вода для промывки оборудования.

Подача скрепляющих составов в массив происходит через специальные инжекторы-герметизатора, конструкция которых приведена на рис. 5.18. Герметизация скважин или шпуров осуществляется за счет упругорасширяющегося шланга длиной 0,6—1 м с усиленным каркасом. Инжектор-герметизатор шлангового типа (см. рис. 5.18, а) оборудован двумя шариковыми клапанами, один из которых служит для обеспечения необходимого распора, а другой — для удержания его в рабочем состоянии при прекращении нагнетания скрепляющего состава. Недостатком этой конструкции является снижение с течением времени надежности работы шариковых клапанов. Поэтому более предпочтительна конструкция герметизатора (см. рис. 5.18, б) с предварительным обособленным распором его путем нагнетания технической воды. В качестве смесителя компонентов скрепляющего состава при двухкомпонентной схеме нагнетания рекомендуется использовать лабиринтный статический смеситель,

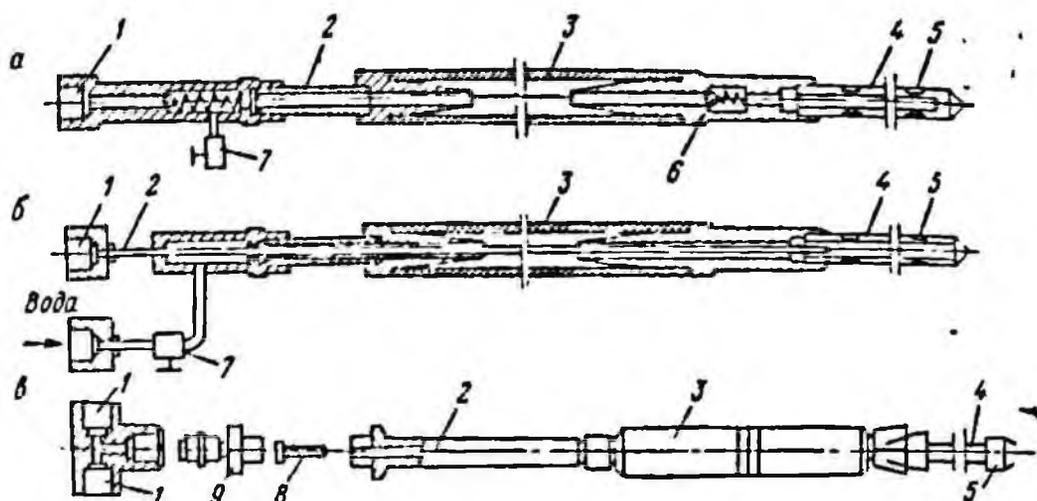


Рис. 5.18. Инъекторы-герметизаторы шлангового типа (а), шлангового типа с предварительным обособленным распором (б) и распорного типа с цапговым закреплением конструкции ИГД им. А. А. Скопинского для двухкомпонентного нагнетания скрепляющих составов (в):

1 — муфта подсоединения нагнетательных шлангов; 2 — загрузочная трубка; 3 — герметизатор; 4 — инжектор; 5 — обратный клапан инжектора; 6 — шариковый клапан герметизатора; 7 — разгрузочный край герметизатора; 8 — смеситель; 9 — ниппель

устанавливаемый перед герметизатором в загрузочной трубке (см. рис. 5.18, а). Возможна его другая конструкция и местоположение в системе, но обеспечивающие хорошее смешение компонентов и неоднократность использования.

Приготовление скрепляющего раствора осуществляется непосредственно на месте производства работ по химическому упрочнению в закрытых емкостях на 180—250 л, изготовленных из нержавеющей стали. Они должны быть оборудованы мешалками с ручным или механическим приводом.

Производство работ по химическому упрочнению. Технологическое оборудование для химического упрочнения желательно размещать в непосредственной близости от объекта стабилизации и должно быть защищено от попадания воды и породы (угля). При монтаже системы магистральные шланги подвешиваются к элементам крепи подготовительной выработки, а в очистном забое уложены и подвязаны к трубопроводу гидросистемы комплекса. Проверка работоспособности нагнетательной установки осуществляется водой при режиме «Рециркуляция». Герметичность элементов системы проверяется водой при закрытом кране в конце магистрали в режиме «Нагнетание» под давлением, превышающим рабочее, после чего следует снять давление и переключить кран управления в режим «Рециркуляция». Обнаруженные места утечек необходимо ликвидировать.

Шпур бурят электро- или пневмосверлом на глубину 2—4 м коронкой диаметром 42 мм. При упрочнении песков угол их за-

ложения определяется из того, что закрепленный песок является защитной пачкой и в сечении выработки должен попадать минимальный его объем. Устье шпура оборудуют кондуктором, который забивают в песок перед бурением. Пробуренные скважины оборудуют иньекторами-герметизаторами. Одновременно подготавливают не менее четырех-пяти скважин. Упрочнение забоя следует начинать с краев и продолжать к центру. Это, как показала практика, способствует эффективному заполнению пор и трещин.

Установку смесительно-запорной арматуры на основе цангового герметизатора конструкции ИГД им. А. А. Скочинского (см. рис. 5.18, в) необходимо выполнять в следующей последовательности [18]. С передней стороны герметизатора снимается обратный клапан и при глубине шпура 4 м подсоединяются две удлинительные трубки, а при глубине 3 м — одна. Снятый с герметизатора обратный клапан устанавливается на конце удлинительной трубки, которая вставляется в шпур, а к тыльной стороне герметизатора подсоединяется загрузочная трубка. Затем освобождаются распорные колодки герметизатора (сдвигается резинка), и он проталкивается в шпур. При этом вне шпура оставляется конец загрузочной трубки длиной 0,2—0,3 м.

Резким движением загрузочной трубки на себя распорные колодки герметизатора расклиниваются в шпуре. Вручную, вращая специальным или гаечным ключом загрузочную трубку, следует распереть герметизатор в шпуре. Затем в выходной конец загрузочной трубки вставляется смеситель и устанавливается ниппель, к которому подсоединяется тройник и затем магистральные шланги. Возможно использование этого иньектора-герметизатора при однокомпонентной схеме нагнетания; в этом случае к загрузочной трубке необходимо подключить только муфту, к которой подсоединяют высоконапорную магистраль.

Подготовка шпуров к нагнетанию состава с использованием герметизаторов шлангового типа осуществляется следующим образом. Шариковый клапан на выходе герметизатора (см. рис. 5.18, а) рассчитан на давление открытия, достаточное для распора упругорасширяющегося шланга. При превышении этого давления скрепляющий состав подается через иньектор в массив. В случае внезапного прекращения подачи состава срабатывает входной шариковый клапан и предотвращает разгерметизацию шпура. При применении иньекторов-герметизаторов с обособленным распором герметизатора (см. рис. 5.18, б) после подачи его в шпур подключается водяная магистраль. Вода под давлением 1,5—2 МПа распирает упругорасширяющийся шланг, и шпур герметизируется. По окончании нагнетания состава в массив через разгрузочный кран сбрасывается давление, иньекторы-герметизаторы вынимаются из шпуров и тщательно про-

мываются водой (совместно со всем технологическим оборудованием).

Рецептуры скрепляющих составов для упрочнения песков (необходимое количество воды и отвердителя на 1 л смолы) с необходимым временем гелеобразования составляются, исходя из анализа данной партии смолы, данных по количеству отвердителя (процент щавелевой кислоты от массы смолы), степени разбавления и расхода компонентов скрепляющего состава на 1 л смолы (вода/5%-ный раствор щавелевой кислоты, мл) при соответствующем сухом остатке смолы.

Порядок составления рецептуры скрепляющего состава для упрочнения песков следующий:

1. Из заводского сертификата на партию смолы берут значение сухого остатка смолы (например, 68%).

2. Исходя из анализа смолы, по величине рН, определенной в лаборатории, и времени хранения смолы (со дня изготовления) ориентировочно определяют процент щавелевой кислоты, необходимой для заданного времени отверждения (например, 40—60 мин при однокомпонентной схеме нагнетания):

а) если срок хранения смолы не более 1—1,5 мес и рН составляет 8 или более, то щавелевая кислота должна составлять 2—2,5% массы смолы;

б) если срок хранения смолы более 1,5—2 мес и  $pH = 7 \div 8$ , то щавелевой кислоты берут от 1,75 до 1%.

3. Раствор хлористого аммония при всех значениях сухого остатка смолы берут в количестве, равном 57,5 мл.

4. Выбирают разбавление смолы, например, 1 : 1,5 (для увеличения проникающей способности, но с достаточной прочностью закрепления).

5. Исходя из данных (например, сухой остаток смолы — 68%, щавелевая кислота — 2%) составляют рецептуру:

смола . . . . .	1000 мл
раствор хлористого аммония . . . . .	57,5 мл
вода . . . . .	472 мл
отвердитель — раствор щавелевой кислоты . . . . .	340 мл

6. В лаборатории определяют время отверждения (т. е. время начала роста вязкости): если оно не отвечает заданному, то принимают другие рецептуры с большим или меньшим количеством кислоты.

7. При расчете количества компонентов для получения 100 л скрепляющего состава расчет рецептуры необходимо вести при разведении 1 : 1 на 65 л смолы, при разведении 1 : 1,5 на 50 л, при разведении 1 : 2 на 40 л.

При приготовлении скрепляющих растворов компоненты (смолы, добавки, растворы отвердителя) необходимо фильтро-

вать через сито с отверстиями диаметром не более 5 мм. 21%-ный раствор хлористого аммония готовят путем засыпки 26,6 кг хлористого аммония в 100 л воды при температуре 20—25 °С и тщательного перемешивания до полного растворения. Ареометром контролируют плотность раствора (1050—1070 кг/м<sup>3</sup>). Приготовление 5%-ного раствора щавелевой кислоты следующее: в 200 л воды при температуре не ниже 25 °С (при меньших значениях не происходит полного растворения) засыпают 10 кг щавелевой кислоты. Раствор перемешивают до полного растворения и контролируют ареометром, плотность раствора — 1010—1020 кг/м<sup>3</sup>. В случае попадания в глаза и на открытые участки кожи эти места необходимо обмыть обильной струей воды.

Количество смолы, заливаемой в смеситель, отмеряют тарированной емкостью или путем перекачки насосом до необходимого уровня. В смолу при тщательном перемешивании добавляют необходимое количество хлористого аммония и воды. Перемешивание производят в течение 2—3 мин. Некачественное перемешивание приводит к выпадению хлопьев — раствор непригоден для нагнетания. При однокомпонентной схеме 5%-ный раствор щавелевой кислоты, охлажденный до температуры окружающей среды, тонкой струей при перемешивании вводится в раствор смолы. Другой порядок запрещается. Раствор смолы и отвердителя тщательно перемешивается, после чего он готов к нагнетанию.

Использование смеси отвердителей — щавелевой кислоты и хлористого аммония усложняет технологию приготовления скрепляющих составов, но в то же время хлористый аммоний способен взаимодействовать со свободным формальдегидом, содержащимся в смоле, и в сочетании с щавелевой кислотой позволяет получать менее токсичные растворы [10].

В процессе производства работ необходимо проводить корректировку рецептуры состава. Для этого от каждого замеса скрепляющего состава следует отбирать контрольные пробы для определения времени гелеобразования и при необходимости корректировать количество отвердителя таким образом, чтобы состав сохранял текучесть в течение заданного времени, включая время, затрачиваемое на приготовление и нагнетание состава, а также промывку технологического оборудования (обычно 40—100 мин).

Во время нагнетания контролируют расход раствора и давление в системе. При этом следят, чтобы не перегревался насос, так как возможно схватывание раствора в насосном оборудовании и магистрали. Нагнетание прекращается при подъеме давления в системе до максимально допустимого предела и отсутствии расхода.

Подготовка и производство работ по химическому упрочнению угольного пласта и трещиноватых пород методом нагнетания

ния в принципе не отличаются от заковки скрепляющих составов в песок, отличие состоит лишь в их рецептуре и способе приготовления компонентов.

Рецептуры скрепляющих составов для угольного пласта с необходимым временем гелеобразования и вспенивания составляют, исходя из анализа данной партии смолы и данных по расходу компонентов скрепляющего состава на 1 л смолы (вода/10%-ный раствор фосфорной кислоты, мл) при соответствующем сухом остатке смолы.

Рецептуру скрепляющих составов для упрочнения угольного пласта (трещиноватых пород) составляют в следующем порядке:

1. В лаборатории проводят анализ исходного сырья и составляют основную рецептуру скрепляющего раствора. В условиях шахты возможна лишь корректировка рецептуры.

2. Из заводского сертификата на партию смолы берут значение сухого остатка смолы (например, 68%).

3. Берут расчетные соотношения воды и отвердителя на смолах различного сухого остатка и различной рН, обеспечивающие жизнеспособность раствора, равную 30—50 мин.

4. При рН смолы, равном 7—8, количество кислоты должно быть 170—190 мл на 1 л смолы, при рН > 8 количество кислоты равно 190—270 мл.

5. Количество алюминиевой пасты при всех значениях сухого остатка смолы составляет 25 г на 1 л смолы, а раствора хлористого аммония — 57,5 мл.

6. Исходя из данных (например, сухой остаток смолы 68%, рН=7,5), составляем рецептуру:

смола . . . . .	1000 мл
раствор хлористого аммония . . . . .	57,5 мл
алюминиевая паста . . . . .	25 г
вода . . . . .	190 мл
отвердитель — раствор фосфорной кислоты . . . . .	170 мл

7. В лаборатории определяют время отверждения: если оно не отвечает заданному, то пробуют другие рецептуры с большим или меньшим количеством кислоты.

8. При одновременном использовании укрепляющего раствора в количестве не более 1 т раствор хлористого аммония в рецептуре можно заменить равным количеством воды.

9. Для получения 100 л скрепляющего состава расчет ведут на 60 л смолы.

Отвердитель — 10%-ный раствор фосфорной кислоты готовят путем внесения 17 л концентрированной фосфорной кислоты в 200 л воды при температуре 10—15 °С. Раствор тщательно перемешивают и плотность его контролируют ареометром (1050—1060 кг/м<sup>3</sup>).

Алюминиевую пасту (для вспенивания скрепляющего состава при отверждении) готовят следующим способом. В 10 л воды растворяют при перемешивании 150—200 г поверхностно-активного вещества ОП-7 или ОП-10. В закрытом сосуде смешивается алюминиевая пудра с приготовленным раствором в соотношении 1:1 по массе. Приготовление пасты необходимо производить в помещении, оборудованном вытяжной вентиляцией. При приготовлении и хранении алюминиевой пасты должны соблюдаться меры безопасности:

смешение алюминиевой пудры с раствором поверхностно-активного вещества производить только в спецодежде, лицо должно быть защищено респиратором или марлевой повязкой;

паста развешивается в полиэтиленовые мешочки по 1,5 кг (количество, рассчитанное для одной замески на 100 л состава); хранить пасту надо в металлической таре по 5—7 пакетов.

Производство работ по химическому анкерowaniu угольного пласта пенополиуретаном включает следующие стадии:

бурение шпуров глубиной 2 м;

закладка в шпур необходимого числа ампул с составом;

перемешивание компонентов путем постепенного введения в шпур деревянного анкера с металлическим наконечником типа «ласточкин хвост» (можно набивать и гвозди), вращаемого электросверлом до отверждения состава.

При пользовании ампулами с пенополиуретаном необходимо соблюдать осторожность, так как возможен разлив содержимого ампул и попадание его на кожу. Установку каждого последующего анкера осуществляют в направлении, противоположном движению вентиляционной струи воздуха по выработке.

Приготовление химических растворов в подземных условиях, нагнетание, разработка упрочненного массива должны производиться при интенсивном проветривании, обеспечивающем соблюдение санитарных норм (предельно допустимая норма по формальдегиду в шахтной атмосфере составляет 0,5 мг/м<sup>3</sup>).

До начала работ лица технического надзора и рабочие должны пройти медосмотр и техминимум с последующей сдачей экзаменов по безопасному ведению химического упрочнения углеродного массива в установленном порядке. В процессе выполнения работ соблюдаются требования регламентирующих ведомственных и отраслевых методических руководств, инструкций и других материалов.

Опыт применения химического упрочнения углеродного массива на шахтах Подмоскoвнoгo бассейна. Химическое упрочнение неустойчивых песков и трещиноватого угольного пласта применяется на шахтах Подмоскoвнoгo бассейна при проведении горных выработок, для уменьшения отжима работами, подстабилизации песков при встрече их очистными работами,

Шахта, место упрочнения	Характеристика упрочняемой породы	Материал, оборудование
<p>«Сокольнитеская» ПО «Новомосковскуголь»; 39-й главный откаточный штрек</p> <p>Сопряжение 35-й лавы с 4-м главным откаточным штреком (запасной штрек)</p>	<p>Песок сыпучий, среднезернистый, светлый; <math>K=2,84</math> м/сут</p> <p>Песок мелкозернистый, светлый; <math>K=1</math> м/сут</p>	<p>Смола КФ-МТ, разбавление 1:1,5; насос 16 (Г11-23), СЭР-19М</p> <p>Смола КФ-МТ, разбавление 1:1,5; насос 16 (Г11-23), СЭР-19М</p>
<p>«Бельковская» ПО «Новомосковскуголь», магистральный конвейерный штрек, камеры посадочной станции, западная объездная выработка</p>	<p>Песок неустойчивый, мелкозернистый, светлый обводненный; <math>K=1,16+1,3</math> м/сут</p>	<p>Смола КФ-МТ, разбавление 1:1,5; насос 11,2 (Г11-22), СР-3</p>
<p>«Никулинская» ПО «Тулауголь», магистральные штреки, людской ходок, камера ЦПП, объездные выработки</p>	<p>Песок неустойчивый, мелкозернистый, светлый и темный, обводненный; <math>K=1,5\div 3</math> м/сут</p>	<p>Смола КФ-МТ, разбавление 1:1,5; насос 11,2 (Г11-22), СР-3</p>
<p>«Дружба» ПО «Новомосковскуголь», лава 101-я северная</p>	<p>Песок сыпучий, мелкозернистый; <math>K=2,12+3,2</math> м/сут</p>	<p>Смола КФ-МТ, разбавление 1:0,5; насос 16 (Г11-23), ручное бурение</p>

держания сбоск и нарезных штреков, пройденных вприсечку к выработанному пространству, при подготовке их к погашению механизированными комплексами. В табл. 5.5 представлены наиболее характерные примеры закрепления песков при ведении горных работ на шахтах бассейна.

Химическое упрочнение песков. Проведение 39-го восточного главного откаточного штрека на шахте «Сокольнитеская» ПО «Новомосковскуголь» осуществлялось по среднезернистым сухим сыпучим пескам (коэффициент фильтрации  $K=2,84$  м/сут) с последующим выходом на угольный пласт. Мощностъ песка в кровле составляла 6—7 м. Проходка велась с применением забивной крепи и установкой трех деревянных рам на 1 м с последующим перекреплением на постоянную трапецевидную сборную железобетонную крепь. Плановая скорость подвигания забоя 1,3 м/сут, а фактически она составляла 0,5—1 м/сут.

Технологические параметры					Результаты упрочнения
глубина зоны упрочнения, м	давление нагнетания, МПа	радиус распространения, м	количество раствора на 1 шпур, л	предел прочности закрепленного песка на сжатие, МПа	
4	0,8—1,6	0,28	100	6—8	Увеличение скорости проходки в 4,5 раза
2—4	0,3—1,6	0,22—0,25	25—120	6,5	Уменьшение в 2—3 раза присыпания песка, тем самым повышение качества и увеличение выхода угля на 4—6 т с каждого цикла
2,4	0,3—1,5	0,22—0,25	30—100	3—4	Ликвидация куполообразования, сокращение времени оформления верхней части забоя в 1,5—2 раза
4	0,4—1,2	0,1—0,26	30—130	1,5—4	Сокращение стоимости спецработ по стабилизации песков и увеличение скорости проходки в 1,5—2 раза
До 2,5	0,12—0,3	0,05—0,3	20—50	8	Возможность комбайновой разработки стабилизированного песка в геологическом нарушении

Химическое упрочнение было предпринято с целью снижения трудоемкости и повышения безопасности проходческих работ. Это достигалось в результате создания монолитной кровли из упрочненного песка, что препятствовало образованию пустот в кровле и бортах штрека и позволило осуществлять крепление сразу постоянной железобетонной крепью.

Шпуры бурили электросверлом СЭР-19М из забоя по контуру кровли штрека на глубину 4 м. Первоначально заложили дополнительный второй ряд двухметровых шпуров для создания упрочненной зоны на контакте заходки, схема которой показана на рис. 5.19. В качестве скрепляющего состава использовали смолу КФ-МТ при разбавлении 1:1,5 и отвердители — щавелевую кислоту и хлористый аммоний, взятые в соотношениях, необходимых для обеспечения жизнеспособности растворов 60—80 мин в шахтных условиях. Для уплотнения устьев инъекционных шпуров в этом случае применялись герметизаторы с ме-

ханическим распором резиновых колец, обеспечивающих достаточную герметизацию, но требующих большого времени на установку и снятие по сравнению со шланговыми герметизаторами (соответственно 4,5 и 1,5 мин).

Организация работ в забое была следующая. В первую смену за 2,5—3 ч проводили работы по химическому упрочнению песков, а во вторую и третью смены осуществляли проходку штрека под защитой закрепленных песков. Расход смолы составил 125 кг/м штрека, а трудоемкость спецработ по химическому упрочнению — 2,57 чел-ч/м. Вскрытие упрочненного участка показало, что песчаная кровля представляет собой сплошной укрепленный массив с пределом прочности на одноосное сжатие 0,6—0,8 МПа. Это позволило вести проходку штрека комбайном ПК-3Р со скоростью 4 м/сут, исключить образование куполов в кровле и применить временную деревянную крепь. Расчет стоимости проходки с применением забивной крепи и химического упрочнения песков кровли показал, что экономический эффект при последнем способе составляет 130,6 руб/м (по прямым затратам и за счет увеличения скорости проведения штрека).

Анализ воздуха, взятого на исходящей струе из забоя при приготовлении, нагнетании растворов и разработке упрочненного песка, показал, что содержание в нем формальдегида в несколько раз меньше предельно допустимых концентраций (ПДК формальдегида 0,5 мг/м<sup>3</sup>).

Аналогичные работы по химическому закреплению песков при проведении горизонтальных выработок различного назначения проводились на строительстве шахт «Бельковская», «Никулинская», «Грицовская» и эксплуатационных шахтах «Россошинская», «Соколышнская», «Владимировская». Полученные результаты подтвердили техническую возможность и экономическую целесообразность химического способа стабилизации неустойчивых песков и позволяют рекомендовать:

наличие фильтрующей пластовой воды нарушает требуемое соотношение компонентов скрепляющего состава, что предопределяет в таких случаях применение двухкомпонентной схемы нагнетания с минимально возможным временем отверждения;

с целью ликвидации тяжелого физического труда и по санитарно-гигиеническим факторам разработку упрочненного массива необходимо осуществлять проходческими комбайнами;

заложенние из забоя наклонных инъекционных шпуров (скважин) глубиной более 4 м неэффективно из-за образования неупрочненной зоны в конце заходки над кровлей выработки, поэтому при их проходке более глубокие инъекционные скважины целесообразнее закладывать параллельно оси на расстоянии от кровли, равном радиусу распространения скрепляющего состава

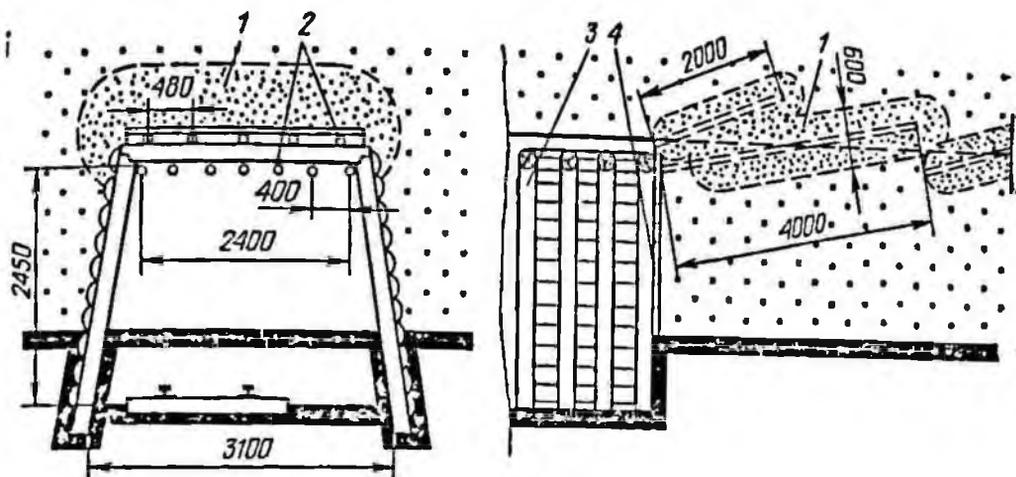


Рис. 5.19. Схема химического упрочнения песков в 39-м восточном главном откаточном штреке шахты «Сокольническая»:

1 — зона упроченного песка; 2 — инъекционные шпурь; 3 — временная деревянная крепь; 4 — затяжка забоя

(глубина скважины регламентируется лишь возможностями нагнетания большего объема раствора).

Проведенные исследования позволили установить, что даже в хорошо фильтрующем песке не образуется сплошной упрочненный массив при наличии глинистых, сцементированных прожилков или нарушенного, насыпного песка из-за распространения раствора по пути наименьшего распространения.

Химическое упрочнение песков применяется и при ведении очистных работ. Так, 4-й западный откаточный штрек, который являлся вентиляционным лавы № 35 на шахте «Сокольническая», был пройден по песку. В связи с тем, что уголь залегают внизу, лава на сопряжении со штреком расположена на 2—2,5 м ниже почвы последнего. Залегание над углем песка мощностью 4—5 м, в том числе, наличие открытого песчаного борта штрека, примыкающего к лаве, вызывало трудности при ведении очистных работ: просыпание песка как в призабойной, так и с завальной стороны комплекса.

По гранулометрическому составу песок относится к мелкозернистому с коэффициентом фильтрации 1 м/сут, рН водной вытяжки песков составляет 2,58. Опытное лабораторное закрепление песка дало положительные результаты.

Из штрека в сторону лавы бурили шпурь диаметром 42 мм в два ряда. Глубина шпуров составляла: нижнего 4 м, верхнего 2—2,5 м. Расстояние между шпурами составляло 0,5 м как в ряду, так и между рядами (рис. 5.20). Скрепляющий состав на основе смолы КФ-МТ с разбавлением 1:1,5 и жизнеспособностью 45—60 мин нагнетался насосом 16 (Г11-23) по одноконтурной схеме.

В результате химического упрочнения на сопряжении лавы

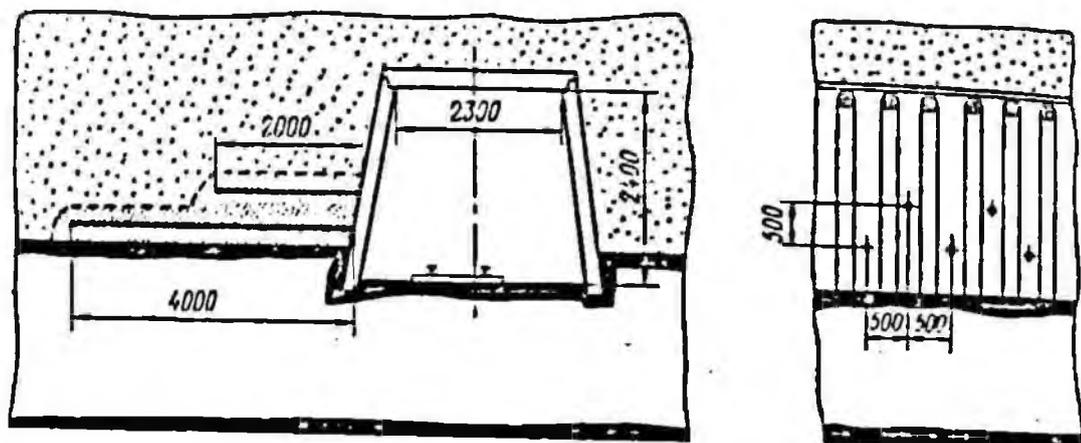


Рис. 5.20. Схема химического упрочнения песков на сопряжении лавы № 35 с вентиляционным штреком на шахте «Соколинская»

с запасным штреком просыпание песка уменьшилось в 2—3 раза. По данным ОТК шахты засорение 1 т угля 15 кг песка повышает зольность угля на 1% и себестоимость каждой тонны на 0,27 руб. Ежемесячно участок выдавал 2—3 двухтонные вагонетки разубоженного угля как некондиционного на породный отвал. После закрепления песков за счет уменьшения разубоживания повысилось качество и увеличился выход угля на 4—6 т/смену. Кроме этого, химическое упрочнение позволило уменьшить в 2 раза трудоемкость крепления сопряжения лавы со штреком. В перспективе в таких условиях возможно уменьшение защитной пачки угля, что позволит сократить его потери.

При переходе комплексно-механизированными лавами геологических нарушений, представленных неустойчивыми песками, в Подмосковном угольном бассейне применяются способы расчески столба с ремонтом комплекса или с помощью забивной крепи. Имеется опыт химического упрочнения песков в геологическом нарушении лавы 101-я северная на шахте «Дружба». В кровле лавы был вскрыт песок мощностью 1,3 м на участке длиной 12 м. Добычные работы были прекращены, а песчаная часть забоя была полностью затянута досками. Бурением разведочных скважин было установлено, что впереди лавы имеются два приблизительно одинаковых нарушения размерами 12 × 16 м, расположенных через 40 м и полностью замещающих угольный пласт сыпучим мелкозернистым песком.

Химическое упрочнение песка проводилось с целью установления технической возможности перехода выявленных нарушений без ремонта механизированного комплекса и получения исходных данных для разработки этой технологии. Работы по стабилизации песка осуществляли по вышеприведенной методике, однако, в то время надежных герметизаторов не было и давление нагнетания не удавалось поднять более 0,3 МПа — началась утечка раствора через устье шпура. Поэтому полу-

чить сплошной упрочненный массив по всей длине нарушения не смогли, однако песок был стабилизирован, что позволило отработать закрепленный участок комбайном (был получен ровный устойчивый забой). Дальнейшее ведение работ по химическому упрочнению песка было приостановлено по ряду организационно-технических причин (отсутствие механических средств бурения шпуров, неудовлетворительное обеспечение компонентами скрепляющего состава, ненадежная герметизация устья инъекционного шпура).

В ходе совершенствования технологии химического упрочнения песков все недостающие технические решения были найдены, в частности, решен вопрос надежной герметизации (см. рис. 5.18), а успешное опытно-промышленное закрепление песков при ведении горных работ на шахтах «Сокольническая», «Бельковская», «Никулинская» и др. предопределяет техническую возможность применения этой технологии при переходе геологических нарушений лавами.

Для установления экономической целесообразности рассмотрим технико-экономические показатели вышеприведенных способов на примере перехода геологических нарушений в лаве 101-я северная шахты «Дружба».

Переход геологических нарушений осуществлялся способом рассечки столба с перемонтажом комплекса, при этом отход под демонтируемую камеру производился способом забивной крепи. Варианты перехода геологических нарушений представлены на рис. 5.21.

Проходка рассечных выработок (см. рис. 5.21, а) общей протяженностью 137 м осуществлялась комбайном ПК-3М, а 40-метровой монтажной камеры — вручную. Демонтируемая камера проходила с двух сторон от границ нарушения к центру двумя бригадами по три человека в каждой (см. рис. 5.21, б). При расчете трудоемкости и стоимости этого варианта с применением забивной крепи для перехода двух геологических нарушений общей протяженностью 32 м за основу брались шахтные показатели двухметровой заходки под демонтируемую камеру. То есть переход зоны нарушений при варианте с забивной крепью должен осуществляться заходками шириной 2 м, а при способе химического упрочнения — 4 м (см. рис. 5.21, в).

В табл. 5.6 приведены трудовые и стоимостные показатели по вариантам перехода геологических нарушений (по первым двум вариантам использованы фактические затраты по данным шахты, а при химическом упрочнении — опытные).

Анализ табл. 5.6 показывает, что стоимость работ по переходу геологических нарушений с применением способа химического упрочнения сыпучих песков в 1,4, а трудоемкость в 3,8 раза ниже, чем при применявшемся (традиционном) способе рас-

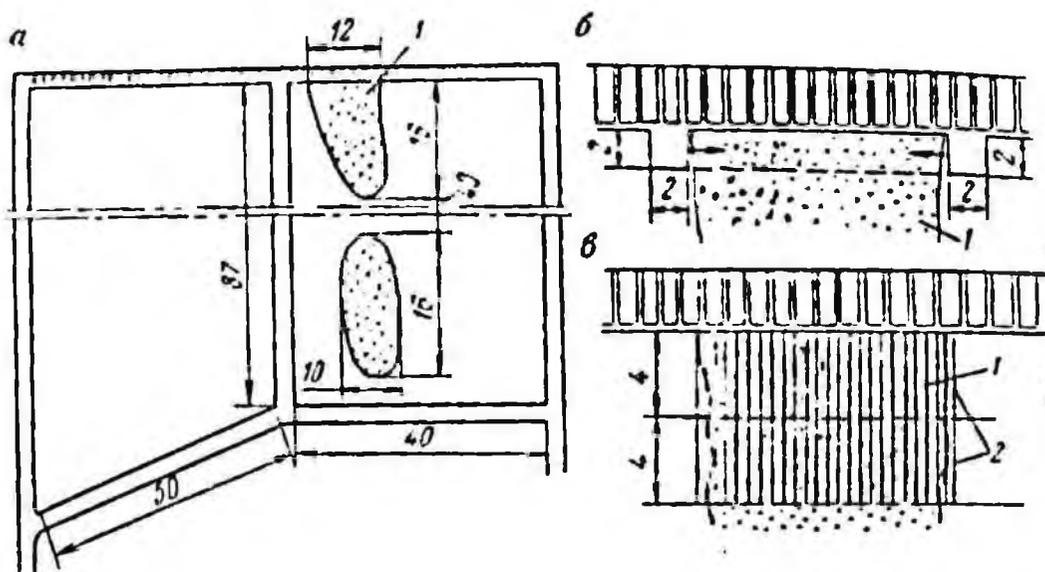


Рис. 5.21. Схемы перехода геологических нарушений в лаве № 101 северная на шахте «Дружба»:

а — способ рассечки выемочного столба с перемонтажом очистного комплекса; б — с применением способа забивной крепи; в — с применением способа химического упрочнения; 1 — геологическое нарушение; 2 — инъекционные шпуров для нагнетания скрепляющего состава

сечки столба и перемонтаже комплекса. Наиболее трудоемким и дорогим является способ перехода нарушений с помощью забивной крепи.

При переходе зон нарушений во всех случаях неизбежны простои лавы и связанные с этим потери добычи угля, что влечет за собой ухудшение технико-экономических показателей работы шахт. Поэтому в качестве критерия экономической оценки

ТАБЛИЦА 56

Способ перехода геологических нарушений	Трудоемкость, чел-смен	Общие затраты		Простой лавы, сут
		руб.	%	
Рассечка выемочного столба с перемонтажом комплекса	606	6340	100	42
В том числе:				
проходка выработок	360	4160		28
перемонтаж комплекса	246	2180		14
С применением забивной крепи	960	11800	186	53
Химическое упрочнение песка	160	4500	71	16
В том числе:				
бурение инъекционных шпуров	64	532		
приготовление и нагнетание скрепляющих составов	96	768		
материалы		3200		

ТАБЛИЦА 5.7

Способ перехода геологических нарушений	Плановая добыча угля, т	Простой лавы, сут	Экономические потери из-за снижения уровня добычи угля, руб.	Прямые затраты на реализацию способа перехода, руб.	Стоимость списанных запасов угля, руб.	Общий экономический показатель способа, руб.
Рассечка выемочного столба с ремонтом комплекса	750	14	28350	6340	25420	60110
С применением забивной крепи	750	46	93150	11800	—	104950
Химическое упрочнение песка	750	16	32400	4500	—	36900

способов перехода лавой геологического нарушения принят показатель, учитывающий одновременно прямые затраты на восстановление лавы, стоимость списанного в сверхнормативные потери угля и фактор времени.

Фактор времени учтен следующим образом: полное время, затрачиваемое по каждому способу перехода геологического нарушения, рассматривается как время, в течение которого шахта несет убытки из-за снижения уровня добычи угля. В расчете принято, что на каждой тонне недоданного угля шахта несет убытки в размере 2,7 руб. (разница между среднотпускной ценой реализованного угля и его себестоимостью на момент проведения работ по химическому упрочнению). Это показатели, рассчитанные по вышеприведенным факторам, сведены в табл. 5.7.

В первом варианте из фактического простоя лавы исключено время на проходку выработок и монтажной камеры, так как эти работы при заранее выявленном геологическом нарушении могут быть проведены заблаговременно до подхода к нему лавы, а учтено только время на ремонт комплекса и конвейера. Как видно из табл. 5.7, общий экономический показатель при применении способа химического упрочнения песков в 1,63 раза меньше по сравнению с наиболее распространенным в Подмосковном бассейне способом рассечки и ремонтом комплекса. Это снижение обусловлено более низкими прямыми затратами и полным извлечением запасов угля. Но простой лавы при этом несколько увеличиваются, так как после нагнетания скрепляющего состава необходимо время на приобретение массивом определенной прочности, что исключает возможность совме-

ния работ по добыче и химическому упрочнению. Применение двухкомпонентной схемы нагнетания, более совершенное технологическое оборудование и передовые методы ведения специальных работ позволят в значительной мере сократить как сроки, так и стоимостные показатели этого прогрессивного специального способа. Таким образом, наряду с технической возможностью применения химического упрочнения песков при переходе геологических нарушений комплексами доказана и его экономическая целесообразность.

Химическое упрочнение угольного пласта — его методы и средства наиболее полно представляются на примерах упрочнения бортов сбоек и выработок, пройденных вприсечку к выработанному пространству, для улучшения условий отработки целиков у штреков главных направлений и выемочных столбов комплексно-механизированными лавами. Характерные случаи поддержания этих выработок с помощью химического упрочнения и его показатели приведены в табл. 5.8.

На шахтах «Пронская», «Ширинская», «Новомосковская», «Щекинская», «Покровская» для повышения устойчивости угольного массива вокруг сбоек и улучшения горнотехнических условий их перехода комплексно-механизированной лавой применяли химическое упрочнение как методами химического анкерования, нагнетания скрепляющих составов, так и их комбинацией в различных технологических сочетаниях. На рис. 5.22 показаны некоторые варианты схем химического упрочнения бортов сбоек.

Для упрочнения угольного массива при переходе сбойки № 8 на шахте «Пронская» применяли метод анкерования пенополиуретановыми патронами ППУ-13Н по схеме, показанной на рис. 5.22, а: в сбойке в сторону лавы поставили двухметровые деревянные анкеры в шахматном порядке в два ряда, а на выходе также закрепили забой лавы при появлении отжима глубиной 1,5—2,5 м на расстоянии 6,5 м от оси сбойки. Радиус распространения полиуретана в массиве не превышал 10—15 см, однако это было достаточным для прочного удержания отдельных угольных блоков, что позволило без осложнений осуществить переход и выход комплекса из сбойки. Общее время, затраченное на переход сбойки (в том числе, подход к сбойке 5 м, переход и выход 3 м), составило 10 сут, в то время как предыдущую сбойку № 12 без химического упрочнения при прочих равных условиях переходили в течение 22 сут. При этом добыча угля в этот период увеличилась в 2,2 раза.

При упрочнении угля в сбойке № 6 применяли метод нагнетания скрепляющего состава в 4-метровые шпурсы с установкой деревянных анкеров длиной 2,5—2,8 м (см. рис. 5.22, б). Анализ шахтных наблюдений показал, что состав распространяется по трещинам на глубину 2—3 м, сцепление его с углем хорошее. На переход сбойки затрачено 9 сут, что в 2,4 раза меньше, чем

ТАБЛИЦА 5.8

Шахта, место упрочнения	Характеристика упрочняемого массива	Материал, оборудование	Технологические параметры упрочнения	Результаты упрочнения
<p>«Пронская» ПО «Новомосковск-уголь», подготов-ка сбоек № 6, 8 к переходу комплексно-механизиро-ванной лавой</p>	<p>Угольный пласт мощно-стью 2,2 м, в кровле и почве глина. Нарушен-ная структура, трещины от 1 до 50 мм. Темпера-тура 12—13 °С. Сухо. Отжим угля до 2,5 м</p>	<p>Пенополиуретановые ам-пулы ППУ-13Н. Вспени-вающие состав на смо-ле КФ-МТ. Насос 16 (Г11-23), СЭР-19М</p>	<p>Химическое анкерование: схема двухрядная, длина анкера 2 м, расстояние в ряду 1 м, между ряда-ми 0,7—0,8 м. Нагнета-ние (однокомпонентное): схема двухрядная, глу-бина шпуров 4 м, рас-стояние в ряду и между рядами 2 м, давление нагнетания 1,5 МПа, ко-личество раствора на один шпур 100 л</p>	<p>Время перехода сбоек сократилось в 2 раза. Добыча угля увеличилась в 2,3 раза. Отжим угля уменьшился в 4—6 раз</p>
<p>«Новомосков-ская» ПО «Ново-московскуголь», штрек 207-бис, пройденный впри-сечку к разрабо-танному простран-ству</p>	<p>Угольный пласт мощно-стью 2,4—2,6 м, в кров-ле и почве глины. Гипсо-метрия сложная. Нару-шенная структура, тре-щины от 1 до 60 мм. Температура 12—13 °С. Сухо</p>	<p>Вспенивающийся состав на смоле КФ-МТ, Насос 16 (Г11-23), СЭР-19М</p>	<p>Нагнетание (однокомпо-нентное): схема двух-рядная, глубина шпуров 4 м, расстояние в ряду 2 м, между рядами 0,8 м, давление нагнетания 1,5 МПа, количество раз-створа на один шпур 50 л</p>	<p>Нагрузка на штре-ковую крепь уменьшилась в 1,6 раза. Отжим угля на сопряже-нии с лавой сокра-тился в 2—4 раза</p>

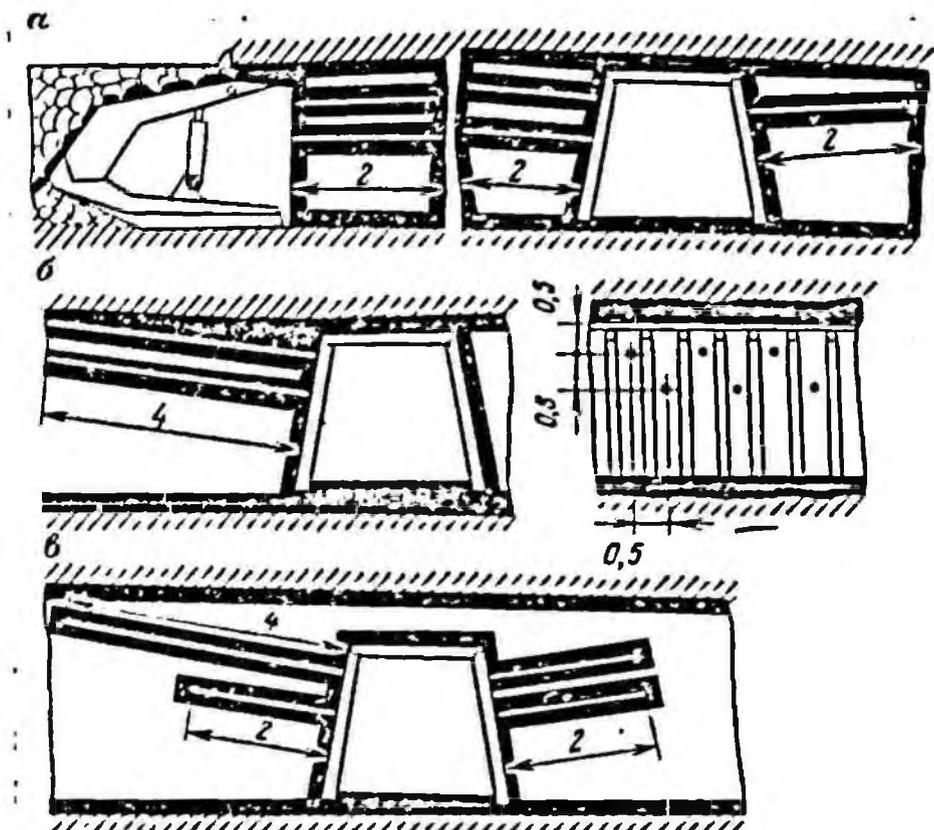


Рис. 5.22. Варианты схем химического упрочнения угольного пласта:  
 а — метод анкерования; б — метод нагнетания скрепляющего состава; в — комбинированный метод химического упрочнения

сбойки № 12 в аналогичных горно-геологических и горнотехнических условиях. Среднесуточная нагрузка на забой за этот период составила 288 т, или увеличилась в 2,4 раза по сравнению с добычей в сбойке № 12.

Возможна и комбинация этих методов, как, например, в сбойке № 74 на шахте «Покровская», где применялось нагнетание скрепляющего состава в 4-метровые шпурсы с установкой деревянного анкера и анкерование пенополиуретановыми патронами ППУ-13Н по схеме, показанной на рис. 5.22, в. Эти схемы можно варьировать в зависимости от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий.

Уголь в сбойках, как правило, представляет собой массив, пронизанный трещинами различного раскрытия. За счет трещиноватости увеличивается зона повышенных напряжений вокруг выработки и, как следствие, повышаются нагрузки на ее крепь. При химическом упрочнении, в частности нагнетании, трещины заполняются скрепляющим составом равноценной прочности, отдельные блоки угля или пород склеиваются, тем самым как бы восстанавливается первоначальная несущая способность массива. Как показали шахтные исследования, нагрузки на

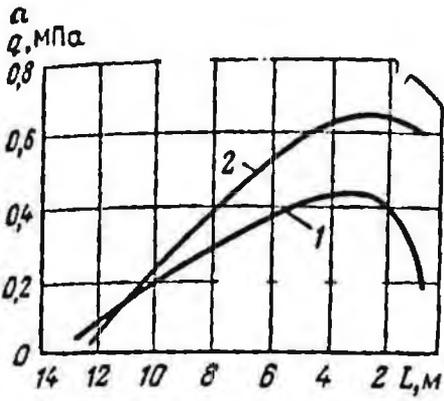
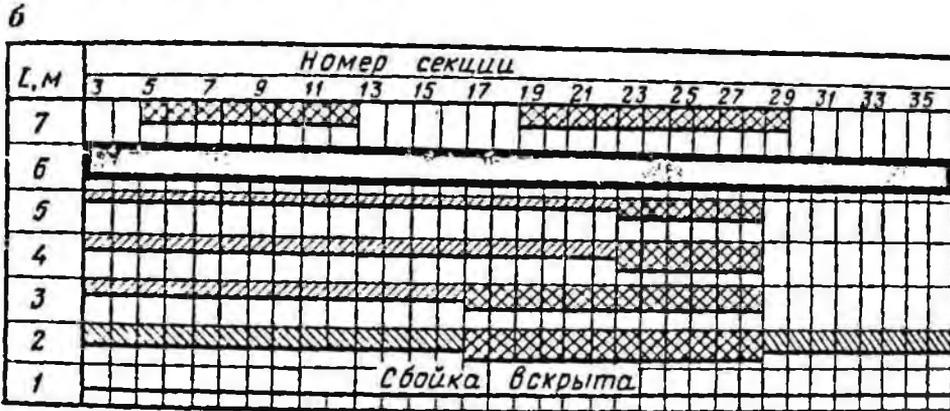


Рис. 5.23. К химическому упрочнению угольных бортов горных выработок:  
 а — график давления нагрузки на крепь *q* сбойки № 4 на шахте «Новомосковская» при различных расстояниях до нее лавы *L*; б и в — планы проявления отжима в лаве № 2 шахты «Пронская» при переходе сбоек № 8 и 6 методами соответственно химического выкерования и нагнетания



до 0,5 м   
 от 0,5 до 1 м   
 от 1 до 1,5 м   
 от 1,5 до 2 м

крепь упроченного химическим способом участка сокращаются в среднем в 1,5—1,7 раза. Для примера на рис. 5.23, а показано давление на крепь упроченной части сбойки № 4 шахты «Новомосковская» при различных расстояниях до нее лавы *L* в сравнении с давлением на контрольном участке при прочих равных условиях. Анализ показал, что на упроченном участке 1 минимальное давление наблюдалось на расстоянии 2,5—4 м от оси сбойки и составляло 0,42—0,43 МПа, в то время как на контрольном участке 2  $q = 0,64 \div 0,65$  МПа.

Отжим угля в очистных забоях — следствие проявления горного давления, поэтому по величине отжима можно судить об

ТАБЛИЦА 5.9

Технико-экономические показатели	Сбойка № 12	Сбойка № 8	Сбойка № 6
Период отработки сбойки	Август 1978 г.	Апрель 1979 г.	Июнь 1979 г.
Отпускная цена реализованного угля, руб/т	8,85	8,76	8,8
Себестоимость добычи, руб/т	5,44	6,44	6,53
Нагрузка на лаву при нормальной работе до подхода к сбойке, т/сут	350	329	311
Нагрузка на лаву при переходе сбойки, т/сут	118	260	283
Время, затраченное на переход сбойки, сут	22	10	9
Сумма недополученной прибыли, руб	17 404	1601	470
Затраты на химическое упрочнение, руб.	—	420	75
Экономическая эффективность, руб.	—	15 383	16 859

эффективности того или иного метода стабилизации углепородного массива. На рис. 5.23, б, в показаны характер и величина отжима в лаве при переходе сбоек № 8 и 6, упрочненных соответственно методами химического анкерования и нагнетания. Из анализа проявления отжима следует, что метод нагнетания более эффективен и обеспечивает меньший отжим угля в лаве — средняя его величина составляла 0,3—0,4 м, в то время как в контрольной сбойке № 12 он был равен 2—2,5 м. Опыт перехода сбоек с химическим упрочнением показывает, что отжим в этих случаях уменьшается в 3—6 раз.

Экономическая эффективность поддержания сбоек для пере-

ТАБЛИЦА 5.10

Характер деформации элементов крепи	Значения деформации, %					
	упрочненный участок			контрольный участок		
	верх- тик	боко- вые элемен- ты	лежень	верх- няк	боко- вые элемен- ты	лежень
Частичная деформация (пригодны к повторному использованию после восстановления)	19,5	0	8	50	40	—
Полная деформация (отправлены в металлолом)	2,5	0	2	34	35	100
Всего	22	0	10	84	75	100

хода их механизированными комплексами подтверждается показателями работы лавы 2-я западная при переходе сбоек № 8 и 6 с химическим упрочнением угольного массива по сравнению со сбойкой № 12, подготовленной только обычным способом, приведенными в табл. 5.9.

Поддержание выработок, пройденных вприсечку к выработанному пространству, с использованием химического упрочнения методически не отличается от технологии поддержания сбоек. Анализ результатов исследований в 207-бис и 187-бис штреках на шахте «Новомосковская» показал, что при химическом упрочнении угольного борта получены аналогичные качественные и количественные показатели. В частности, нагрузки на металлическую инвентарную крепь на упрочненном участке, в 1,6 раза ниже, чем на контрольном. Это подтверждается характером и количеством деформированных элементов крепи, приведенными в табл. 5.10.

При этом объем отжима угля на упрочненном участке составлял 5,6 м<sup>3</sup>, а на четырех секциях после зоны упрочнения — 10,2 м<sup>3</sup>, т. е. в 1,8 раза больше, причем упрочненный участок находился в худших условиях — на сопряжении лавы со штреком.

Экономическая эффективность упрочнения угольного борта в штреке 187-бис, определенная только лишь по стоимости не подлежащих восстановлению элементов инвентарной крепи, составила 12 руб. на 1 м выработки.

Таким образом, химическое упрочнение углепородного массива при ведении горных работ в условиях неустойчивых вмещающих пород технически осуществимо и экономически целесообразно. Дальнейшее совершенствование технологии химического упрочнения в направлении разработки нетоксичных скрепляющих составов, основанных на экономичных и недефицитных химических композициях, создания высокопроизводительного оборудования в сочетании с организацией специализированных структурных подразделений для ведения этих работ позволит поднять этот прогрессивный специальный способ на новый качественный уровень, отвечающий современным требованиям интенсификации горного производства.

## Список литературы

1. А. С. 757720 (СССР). Замкнутая металлическая крепь/Н. П. Долотов, Ю. В. Афонасьев, В. А. Бреднев и др. — Оpubл. в Б. II, 1980, № 31.
2. А. С. 1116165 (СССР). Секция штрековой крепи/В. Л. Николаев, Б. В. Цыплаков, В. П. Чулочников и др. — Оpubл. в Б. II, 1984, № 36.
3. Болотских И. С., Райтруб М. С. Опыт применения установок забойного водоопущения при проведении горных выработок. М., ЦНИЭИУголь, 1985.
4. Верхотуров В. С., Войтов М. Д., Ващенко С. Г. Технология и организация проведения горных выработок большого сечения. М., ЦНИЭИУголь, 1983.
5. Временное методическое руководство по применению технологии проведения подготовительных выработок с применением опережающего осушения на шахтах Подмосковского бассейна. Новомосковск, ПНИУИ, 1982.
6. Временные указания по выбору оптимальных способов охраны подготовительных выработок без целиков. Л., ВНИИИ, 1974.
7. Временное руководство и типовые схемы извлечения металлической крепи из погашаемых выработок. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1983.
8. Гелескул В. И., Карасев Ф. А. Автоматизация подземных передвижных замораживающих установок. — В кн.: Механизация и автоматизация процессов добычи угля на шахтах. М., 1976, вып. 17, с. 107—113.
9. Гелескул В. И., Дмитриенко С. С., Карасев Ф. А. Специальные способы проведения и поддержания выработок при ведении горных работ на шахтах Подмосковского бассейна. М., ЦНИЭИУголь, 1981.
10. Гелескул В. И. Упрочнение вмещающих пород и угольного пласта на шахтах Подмосковского бассейна. — Добыча угля подземным способом, 1980, № 3, с. 23—24.
11. Гелескул М. И., Каретников В. И. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. М., Недра, 1982.
12. Губин И. И., Поталенко В. А., Суворский В. М. Новые конструкции металлической крепи для выемочных выработок. — Уголь, 1980, № 11, с. 19—22.
13. Давыдов В. В., Белоусов Ю. И. Химический способ укрепления горных пород. М., Недра, 1977.
14. Казанский Ю. В. Классификация временных крепей и схем механизации возведения постоянной крепи в комбайновых забоях подготовительных выработок. — Научные сообщения ИГД им. А. А. Скочинского, 1975, вып. 128, с. 50—54.
15. Казанский Ю. В., Карасев Ф. А., Мамчилов В. С. Технология и средства механизации процессов проходческого цикла при комбайновом проведении выработок на шахтах Подмосковского бассейна. — М., ЦНИЭИУголь, 1981.
16. Малевич Н. А. Горнопроходческие машины и комплексы. М., Недра, 1980.
17. Машины и оборудование для угольных шахт: Справочник/Под редакцией В. Н. Хорина. М., Недра, 1987.
18. Методическое руководство по упрочнению неустойчивых горных пород нагнетанием карбамидного состава. М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1985.
19. Механизация тяжелых ручных работ в подземных горных выработках/В. Л. Николаев, П. Д. Романов, В. Н. Зенякин и др. Новомосковск, ПНИУИ, 1983.
20. Механизируемая крепь охраны сопряжения КОС/Б. В. Цыплаков, В. П. Голуб, В. В. Степанов и др. Тула, ЦНТИ, 1980.
21. Насонов И. Д., Шулик М. Н. Закономерности формирования ледопородных ограждений при сооружении стволов шахт. М., Недра, 1976.

22. *Насонов И. Д., Шуплик М. Н., Ресин В. И.* Исследование параметров замораживания при проведении горизонтальных выработок. М., Недра, 1980.
23. *Николаев В. Л., Стесин Е. Л.* Механизация основных и вспомогательных процессов на шахтах. — Уголь, 1975, № 6, с. 46—47.
24. *Отраслевая инструкция по применению рамных и анкерных крепей в подготовительных выработках угольных и сланцевых шахт.* М., ИГД им. А. А. Скочинского, 1985.
25. *Охрана подготовительных выработок без целиков/Н. П. Бажин, В. В. Райский, Ю. В. Волков и др.* М., Недра, 1975.
26. *Оценка устойчивости кровли горных выработок/Б. К. Бранчуков, Е. З. Гелюта, В. В. Куликов и др.* М., ЦНИЭИуголь, 1974.
27. *Попов В. Л., Каретников В. Н., Цыплаков Б. В.* Основные технические требования на создание специальных штрековых (присечных) крепей для условий Подмосковского бассейна. — В кн.: Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов. Тула, 1973, с. 92—98 (Науч. тр. ТулПИ).
28. *Попов В. Л., Каретников В. Н., Еганов В. М.* Расчет крепи подготовительных выработок на ЭВМ. М., Недра, 1978.
29. *Потапенко Г. Д., Кравченко А. Н., Ковалев А. Н.* Организация повторного использования материалов на шахте «Дубовская» объединения «Новомосковскуголь». М., ЦНИЭИуголь, 1985.
30. *Прогрессивные паспорта крепления, охраны и поддержания подготовительных выработок при бесцеликовой технологии отработки угольных пластов.* Л., ВНИМИ, 1984.
31. *Прохоров Н. И.* Прогнозирование величин смещения пород в выемочных штрках. — В кн.: Механика подземных сооружений. Тула, 1982, с. 62—65 (Науч. тр. ТулПИ).
32. *Технологические схемы проведения горизонтальных капитальных выработок на строящихся шахтах. Подмосковский бассейн.* Харьков, ВНИИОМШС, 1978.
33. *Типовые паспорта рационального расположения, охраны и крепления горных выработок, поддерживаемых в слабых породах.* — Тула, 1982 (ВНИМИ, ПНИУИ).
34. *Трупак Н. Г.* Замораживание грунтов в подземном строительстве. М., Недра, 1974.
35. *Установка УВК-3 для механизации работ по возведению крепи/В. Л. Николаев, Е. Л. Стесин, А. Я. Фельде и др.* — Новое горношахтное оборудование и аппаратура. М., ЦНИЭИуголь, 1978, вып. 55, с. 1—9.
36. *Цыплаков Б. В., Казанский Ю. В.* Определение нагрузок на временную механизированную крепь для подготовительных выработок. — В кн.: Механизация и автоматизация добычи угля на шахтах. М., 1976, с. 83—90 (Науч. тр. ИГД им. А. А. Скочинского, ПНИУИ, вып. 17).
37. *Цыплаков Б. В., Карасев Ф. А., Савкин В. А.* Влияние горнотехнических факторов на условия поддержания выемочных выработок, проводимых вприсечку к выработанному пространству. — В кн.: Исследование и разработка техники и технологии добычи угля на шахтах Подмосковского бассейна. Тула, 1984, с. 42—46 (Науч. тр. ИГД им. А. А. Скочинского, ПНИУИ).
38. *Цыплаков Б. В., Шапошников В. И.* Выбор технологических схем выемки угля с повторным использованием выработок. — В кн.: Совершенствование технологии и средств осушения, подготовки и выемки угля на шахтах Подмосковского бассейна. Тула, 1982, с. 35—44 (Науч. тр. ИГД им. А. А. Скочинского, ПНИУИ).
39. *Шахтные испытания устройства для проходки дренажа УПД на проходческих комбайнах типа ПК-ЗР/В. Л. Николаев, Ю. В. Казанский, А. Я. Фельде и др.* — Новое горношахтное оборудование и аппаратура. М., ЦНИЭИуголь, 1979, вып. 62, с. 18—23.

# Оглавление

Предисловие . . . . .	3
1. Горно-геологические и гидрогеологические условия Подмосковского бурогоугольного бассейна . . . . .	4
1.1. Характеристика вмещающих пород и угольных пластов . . . . .	4
1.2. Гидрогеологические условия . . . . .	8
1.3. Классификация условий проведения и поддержания выработок . . . . .	10
2. Технология и механизация проведения выработок обычным способом . . . . .	14
2.1. Общие положения . . . . .	14
2.2. Средства механизации проведения горных выработок . . . . .	18
2.3. Технологические схемы проведения выработок . . . . .	34
2.4. Опыт высокопроизводительной работы проходческих бригад на шахтах Подмосковского бассейна . . . . .	100
2.5. Основные направления развития и совершенствования технологических схем и средств ведения горнопроходческих работ . . . . .	105
3. Крепление, охрана и поддержание выработок . . . . .	118
3.1. Общие положения . . . . .	118
3.2. Проявление горного давления . . . . .	121
3.3. Конструкции крепей . . . . .	137
3.4. Условия и область применения крепей . . . . .	185
3.5. Изготовление металлических рамных крепей, извлечение, ремонт и их повторное использование . . . . .	195
3.6. Охрана и поддержание выработок . . . . .	211
3.7. Повышение эффективности крепления и поддержания выработок . . . . .	224
4. Крепление и поддержание зон сопряжения и мест пересечения подготовительных выработок . . . . .	238
4.1. Общие положения . . . . .	238
4.2. Конструкция крепей сопряжения подготовительных выработок . . . . .	241
4.3. Технология проведения и крепления сопряжений . . . . .	248
4.4. Повышение эффективности крепления и поддержания сопряжений выработок . . . . .	255
5. Проведение и крепление горизонтальных горных выработок с применением специальных способов . . . . .	257
5.1. Общие положения . . . . .	257
5.2. Замораживание горных пород с применением автоматизированной подземной передвижной замораживающей установки . . . . .	260
5.3. Упрочнение горных пород химическим способом при проведении и поддержании выработок . . . . .	306
Список литературы . . . . .	334

34 E.  
4-10

10

111