



622.28

М 36

М. Н. МАХАРАДЗЕ

Сборная железобетонная крепь

**для горизонтальных
выработок**

НЕДРА • 1968

Книга должна быть возвращена не
позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач _____

14951

Махарадзе

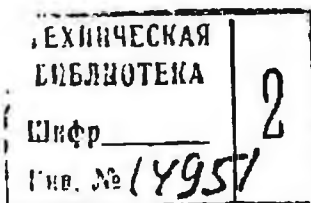
и пс/б

38

74 20051.
Канд. техн. наук М. Н. МАХАРАДЗЕ

622.28
М 36

СБОРНАЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ
КРЕПЬ
ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ
ВЫРАБОТОК



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва 1966

АННОТАЦИЯ

В данной брошюре описаны виды и конструкции железобетонных крепей горизонтальных горных выработок.

Особое место отведено новым видам сборных железобетонных крепей типа ТАГ-I, ТАГ-II и ГТК, нашедших применение на шахтах Грузии, которые могут быть применены в других угольных бассейнах со сходными горногеологическими условиями.

Брошюра предназначена для широкого круга инженерно-технических работников угольной и горнорудной промышленности, а также может быть полезной для преподавателей и студентов горных вузов и факультетов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивы XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 годы предусматривают значительное увеличение добычи полезных ископаемых.

Выполнение этой задачи будет осуществляться за счет совершенствования технологии добычи полезных ископаемых, путем дальнейшего развития комплексной механизации и автоматизации процессов производства, за счет реконструкции и строительства новых шахт и рудников, а также и за счет изыскания новых путей повышения производительности труда.

Сроки строительства шахт и рудников определяются объемами горных работ, связанных в основном с сооружением капитальных горных выработок, что указывает на исключительную важность правильного решения вопроса их проведения и крепления.

Работы по креплению и поддержанию горизонтальных выработок весьма трудоемки и связаны с большими трудовыми и материальными затратами, снижение этих затрат имеет огромное народнохозяйственное значение. Следовательно, изыскание рационального типа крепи (материал и конструкция), при котором будут обеспечены минимальные трудоемкость и стоимость крепления выработок, является весьма актуальной задачей.

В настоящей брошюре рассмотрены материалы о различных видах крепи, применяемой для капитальных выработок на пластовых месторождениях Грузии, которые также широко распространены и на других горнопромышленных районах Советского Союза.

На базе изучения и обобщения условий работы крепи и технико-

экономического анализа различных конструкций крепей автором выявляется рациональность крепи из сборного железобетона.

Работа подготовлена на основании обобщения практики крепления горизонтальных выработок, экспериментальных исследований и промышленного внедрения на базе научно-исследовательской работы, выполненной в институте горного дела АН ГрузССР, ответственным исполнителем которой являлся автор.

При подготовке данной работы большую помощь ценными советами и замечаниями оказал проф., докт. техн. наук Н. М. Покровский, за что автор приносит глубокую благодарность.

Глава I

ВИДЫ И КОНСТРУКЦИИ КРЕПИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ГРУЗИИ

Горнодобывающая промышленность Грузии в основном представлена Чиатурским месторождением марганцевых руд, а также Ткибульским и Ткварчельским угольными месторождениями.

В геологическом строении Чиатурского месторождения характерно наличие главным образом осадочных пород мезозойского и третичного возрастов. Мощность всей третичной толщи достигает 200 м и более. Залегают третичные отложения почти горизонтально. Марганценосная толща характеризуется спокойным почти горизонтальным залеганием. Общая мощность пласта колеблется от 1 до 7 м, изредка доходя до 9—10 м, а полезная мощность от 0,5 до 5—6 м.

Кровля пласта представлена кремнистыми и глинистыми песчаниками, песчанистыми глинами, а местами глинами и песками. Коэффициент крепости пород непосредственной кровли (мощностью 3—20 м) по шкале проф. М. М. Протоdjяконова ($f=2\div 4$)*.

В почве пласта залегают в основном известняки.

Гидрогеологические условия Чиатурского месторождения благоприятны. Рудная толща практически водонепроницаема, и воды, приуроченные к подрудным породам марганцевой толщи, лишь частично проникают в горных выработках через образовавшиеся трещины после обрушения кровли выработанного пространства на эксплуатационных участках.

Горный рельеф и почти горизонтальное залегание рудного пласта определяют вскрытие Чиатурского месторождения горизонтальными штольнями. Штольни обычно проводятся в самом пласте (по простиранию), с небольшим уклоном в сторону устья, обеспечивающим удаление воды самотеком.

Для обеспечения двукрылой работы штольни проводят преимущественно посередине рудного поля. Длина вскрывающих капитальных штолен изменяется в широких пределах и достигает 3—4 км.

При значительных размерах рудничного поля от капитальных

* В данной брошюре коэффициент крепости пород (f) принят по шкале проф. М. М. Протоdjяконова.

штолен через каждые 300—400 м проводят подготовительные выработки, разделяющие поле на отдельные панели.

В обе стороны панельных выработок проводят парные нарезные (выемочные) штреки, которыми марганцевый пласт нарезается на столбы.

Капитальные штольни в условиях вскрытия и разработки Чиатурского месторождения играют большую роль. Так, по состоянию на 1 января 1964 г. протяженность капитальных штолен составляла около 45 км, что соответствует более 25% от общей протяженности поддерживаемых выработок.

В основании угленосных отложений Ткибульского района залегает мощная серия порфиритовых пород байоса. Верхние горизонты свиты представлены мощной толщей зеленых песчаников и сланцев.

Угленосная толща района делится на три горизонта — нижние песчаники, угольная толща и верхние песчаники.

Угольная толща, условно названная пластом «Толстый» мощностью до 60 м, содержит чередующиеся пачки гумусовых и липтобиолитовых углей, углистых и углисто-глинистых сланцев и песчаников. Угольные пачки пласта «Толстый» условно объединены и называются пластами. На западном участке выделяют 9 таких пластов, на юго-восточном участке — 8 пластов и на восточном — 8 пластов.

Мощность условных пластов колеблется в широких пределах от нерабочей до 5—8 м и даже 10 м. Наиболее выдержанными являются пласты II, III, IV и VI.

Падение пластов колеблется от 10 до 50°. В верхних горизонтах и на центральных участках пласты имеют падение до 40—50°.

Над угленосными отложениями залегает пестроцветная свита и меловые отложения мощностью от 670 до 1700 м.

В геологическом строении Ткварчельского месторождения принимают участие юрские, меловые, третичные и четвертичные отложения.

Все угольные пласты района являются сложными крайне изменчивыми по строению, мощности и углу падения. Резко меняется также строение мощности межпластовых толщ. Часто угольные пласты смываются, расщепляются и выклиниваются. На месторождении насчитывается около 20 угольных пластов и пропластков, из которых от трех до пяти пластов имеют промышленное значение. Все рабочие пласты имеют преимущественно пологое и наклонное падение. Боковые породы представлены глинистыми и песчанистыми сланцами различной крепости и устойчивости. Коэффициент крепости пород по месторождению колеблется от 3—4 до 10—12 и более по шкале проф. М. М. Протодяконова. Все пласты месторождения опасны по газу и пыли.

Гидрогеологические условия Ткибульского и Ткварчельского месторождений благоприятны. Подземных вод в этих районах практически нет.

Горный рельеф и условия залегания угольных пластов определили вскрытие всех промышленных участков Ткибульского месторождения капитальными штольнями. Ниже горизонтов штолен вскрытие угленосной толщи осуществлено слепыми стволами, этажными квершлагами и полевыми штреками.

Капитальные горизонтальные горные выработки в условиях вскрытия и разработки Ткибульского каменноугольного месторождения играют значительную роль.

В среднем протяженность капитальных горизонтальных выработок этого месторождения (по состоянию на 1 января 1964 г. — 22,3 км) составляет более 55% от всех горных выработок.

Отметим, что удельный вес капитальных горизонтальных выработок на Ткибульском месторождении в два раза больше, чем на рудниках Чиатурского месторождения, поэтому выбор рациональных видов крепи в этих условиях является весьма актуальным вопросом.

Как на Чиатурском и Ткибульском месторождениях, так и на Ткварчельском каменноугольном месторождении горизонтальные капитальные выработки в условиях вскрытия и разработки его играют значительную роль и составляют более 30% от протяженности всех поддерживаемых выработок.

Капитальные штольни на Чиатурском месторождении, как указывалось выше, проводятся по рудному устойчивому пласту, в кровле которого залегают породы от весьма устойчивых до слабых. Глубина заложения штолен в среднем по месторождению достигает 180—200 м. Срок службы капитальных штолен составляет 15—20 лет.

Основные виды крепей (рис. 1), применяемые в настоящее время для крепления штолен, по Чиатурскому месторождению имеют следующее распространение:

деревянной крепью закреплены капитальные штольни с общей протяженностью 19 800 м при поперечном сечении в свету от 4,4 до 7,6 м² (см. рис. 1, а);

металлической крепью — 1700 м с сечением в свету 6,4—7,6 м² (см. рис. 1, б);

смешанной крепью (стены из каменной кладки, перекрытие — металлические балки с деревянной затяжкой) — 14 400 м с сечением в свету от 7,6 до 10,3 м² (см. рис. 1, в);

монолитной бетонной крепью — 180 м с сечением в свету 8,7—10,6 м² (см. рис. 1, г).

Таким образом, в настоящее время основными видами постоянной крепи капитальных штолен Чиатурских рудников являются деревянная рамная крепь и смешанная крепь. Высокий удельный вес применения деревянной крепи определяется сравнительно невысокой первоначальной ее стоимостью, малой трудоемкостью возведения, а также легкостью снабжения рудников лесоматериалом. Но как показывает практика, древесина в условиях Чиатурского месторождения быстро гниет и примерно через 10—12 месяцев теряет

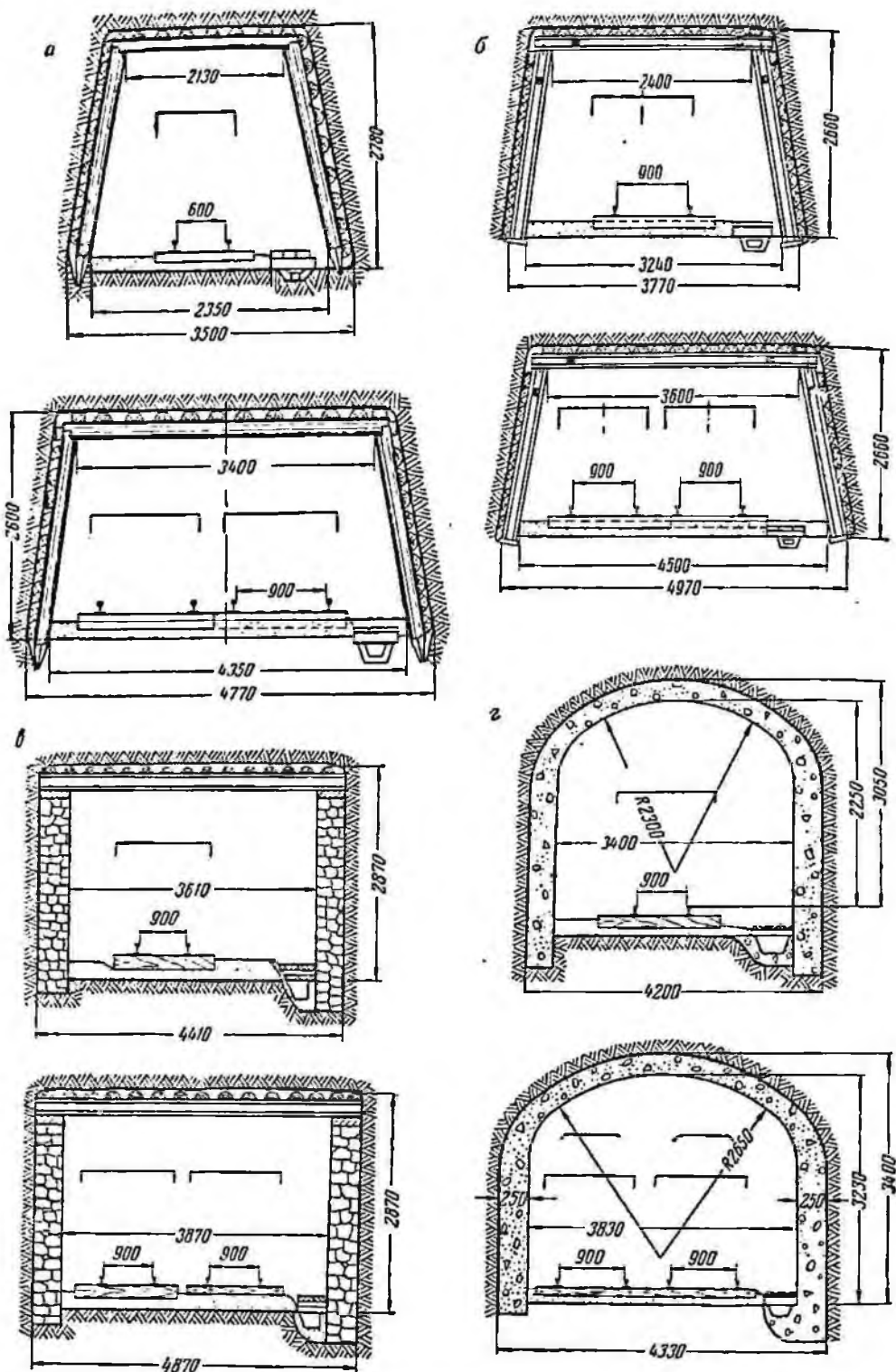


Рис. 1. Сечения выработок и основные виды крепи штолен на шахтах Чиатурского месторождения:

а — деревянная роликовая крепь; б — металлическая рамная крепь; в — смешанная крепь; г — монолитная бетонная крепь

применен
со знач

Штол
Штол

II
долж
ход д
по ср
прим.

О.
няетс
имост

В
ки, пе

лучае

ШТОЛЕ

Ной 3:

статоч

крепи

```

1
преим

```

тельно

НОСТЬ

Гл

призна

на 1 л

своевр

HOM K

наблѣ

П И О Т

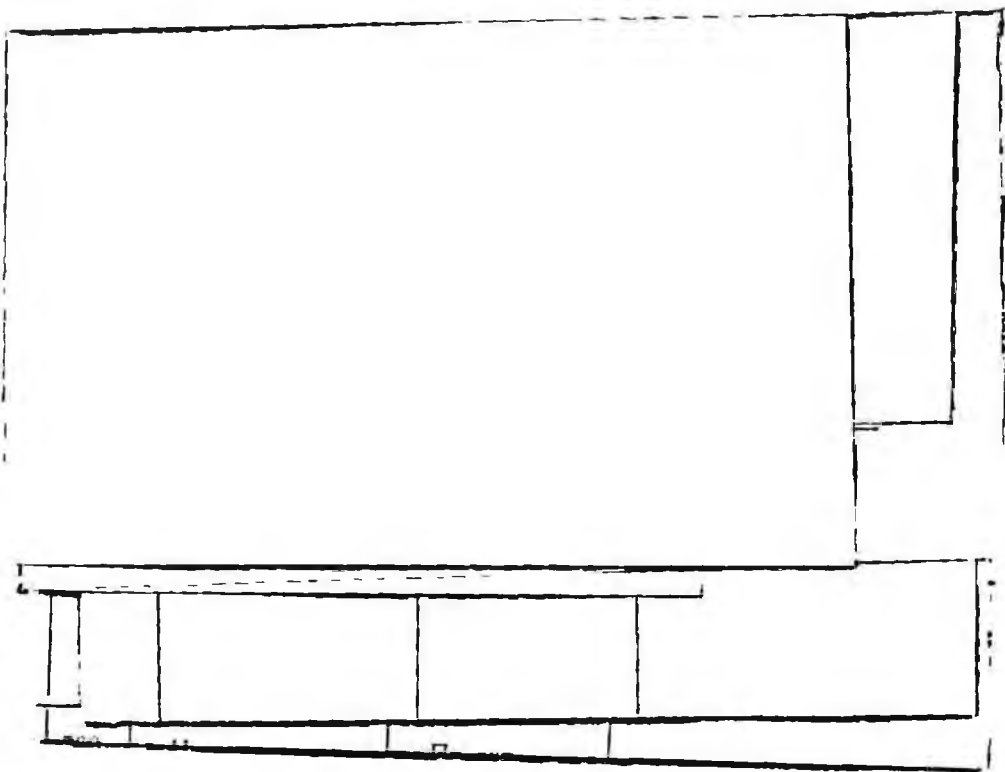
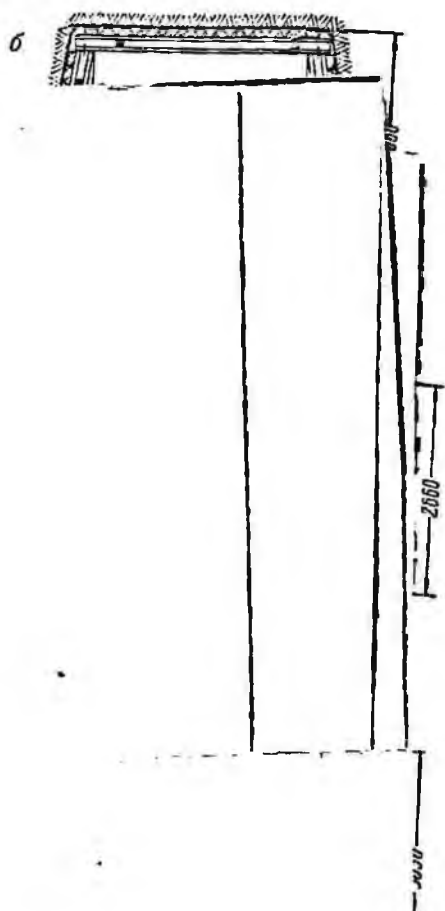
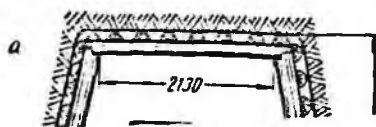
закреп

меняе-

обруш

СТОЯНН

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СБОРНЫЕ ЖЕЛАЗОБЕТОННЫЕ КРЕПЛИ



свои прочные свойства, в результате чего для поддержания штолен в нормальном состоянии требуются значительные затраты. Характерны в этом отношении данные рудоуправления № 24/25, приведенные в табл. 1, которые ясно указывают на нецелесообразность применения древесины в качестве постоянной крепи в выработках со значительным сроком службы.

Таблица 1

Выработка	Сечение в свету, м ²	Трудовые затраты и расход материалов для поддержания 1 м штольни в год								
		1961 г.			1962 г.			1963 г.		
		цел.-смен	крепеж-ный лес, м ³	всего, руб.	цел.-смен	крепеж-ный лес, м ³	всего, руб.	цел.-смен	крепеж-ный лес, м ³	всего, руб.
Штольня 24 . . .	4,4	2,61	0,74	29,7	2,62	0,76	32,0	2,52	0,81	33,3
Штольня 7 . . .	6,2	2,49	0,965	33,5	2,63	1,083	38,3	2,50	1,050	36,5

Широкое применение на шахтах Чиатурского месторождения должна была получить металлическая крепь, однако большой расход дефицитного материала — двутавра (почти в два раза больше по сравнению со смешанной крепью) определил ограниченность ее применения в условиях этого месторождения.

Ограниченное применение монолитной бетонной крепи объясняется трудоемкостью ее возведения, а отчасти и высокой стоимостью.

В настоящее время смешанная крепь (стены из каменной кладки, перекрытие из двутавровых балок с деревянной затяжкой) получает наибольшее распространение среди крепей капитальных штолен. Основное преимущество смешанной крепи перед деревянной заключается в ее сравнительно большой долговечности и достаточной грузонесущей способности. Однако наличие в смешанной крепи деревянных затяжек значительно снижает ценность этих преимуществ. Повсеместное гниение деревянных затяжек значительно уменьшают как долговечность, так и грузонесущую способность этого вида крепи.

Главным недостатком этой конструкции крепи все же надо признать значительный расход (270—320 кг) дефицитного металла на 1 м сооружаемой выработки. По этой причине очень часто несвоевременно снабжение рудников металлическими балками в нужном количестве приводит к тому, что при проведении штолен наблюдается значительное отставание в возведении постоянной крепи от забоя. Поэтому выработки иногда на расстояние 300—400 м закреплены временной деревянной крепью, и когда последняя заменяется смешанной постоянной крепью, происходят значительные обрушения пород кровли, что резко ухудшает условия работы постоянной крепи.

Недостатком смешанной крепи также является весьма большая толщина стен (40—60 см), необходимость которых обусловливается конструктивной особенностью крепи. Большая толщина стен увеличивает ширину выработки в проходке, т. е. увеличивает объем работ по выемке, а также и пролет кровли, тем самым ухудшая работу крепи. Все это вызывает увеличение трудовых затрат на ее возведение.

На Ткибульском месторождении прочностные свойства горных пород, в которых сооружаются капитальные выработки, меняются в довольно широких пределах от весьма устойчивых до неустойчивых, что в основном определяет виды и состояние крепей в этих выработках. Немалое влияние имеет и глубина заложения выработок от поверхности, которая изменяется от нескольких десятков метров до 500 м и более.

Из общего объема поддерживаемых выработок, который достигает около 25 км, наибольшее распространение получила металлическая крепь, ею закреплено 8,4 км, монолитная бетонная — 7,7 км и деревянная — 6,4 км. Около 2 км выработок закреплено железобетонной крепью из плит УРП.

Следует отметить, что деревянную рамную крепь в основном применяют в капитальных горизонтальных выработках со сроком службы 12—15 лет, и ее относительно широкое применение в настоящее время вызвано сравнительно невысокой первоначальной стоимостью и легкостью снабжения треста лесоматериалом. Вместе с тем условия работы деревянной крепи здесь значительно сложнее, чем на Чиатурском месторождении: древесина быстро гниет и крепь теряет через 8—10 месяцев свои прочностные свойства, требуя полного перекрепления выработки. В табл. 2 приведены данные о расходах на поддержание капитальных выработок, закрепленных деревянной крепью. Необходимо отметить, что на поддержание этих выработок расходуется в 2—3 раз больше лесоматериалов, чем на крепление вновь проходимой выработки.

Таблица 2

Выработки	Трудовые затраты и расход материалов на поддержание 1 м выработки в год					
	1962 г.			1963 г.		
	чел.-смен	крепежный лес, м ³	всего, руб.	чел.-смен	крепежный лес, м ³	всего, руб.
Полевые штреки шахты «Западная-1»	2,8	1,06	59—39	2,75	0,96	54,46
Полевые штреки шахты им. Ленина	2,39	0,46	40—60	2,5	0,52	44,40
Полевые штреки шахты им. Орджоникидзе	1,5	0,40	36—19	1,3	0,36	30,30
В среднем по тресту Ткибульуголь	2,34	0,64	44—06	2,18	0,61	43,04

Приведенные данные показывают, что для капитальных выработок Ткибульского угольного месторождения со сроком службы 12—15 лет применение в качестве постоянной крепи дерева явно нецелесообразно, и необходимость ее замены другим более рациональным материалом крепи является весьма актуальной задачей.

Распространение других видов крепей связано, как правило, со сроками службы капитальных выработок. Так, например, бетонная крепь применяется в выработках со сроком службы до 50 лет и более (штольни, стволы и др.); металлическая рамная крепь в выработках со сроком службы 15 лет и более (полевые штреки, главные квершлагги и др.).

Металлическая рамная крепь, заменяя деревянную крепь, за последние годы получила широкое распространение на шахтах Ткибульского месторождения. Это вызвано ее сравнительно большой долговечностью и меньшей трудоемкостью возведения с учетом перекрепления. Однако большой расход металла (двухавра) от 280 до 360 кг на 1 м выработки ограничивает ее распространение и сужает возможность широкого применения во всех капитальных выработках взамен деревянной крепи. К этому надо добавить также большой недостаток металлической крепи — высокое аэродинамическое сопротивление, что особенно нежелательно в условиях Ткибульского месторождения, так как шахты являются сверхкатегорными по газу.

Монолитная бетонная крепь характеризуется долговечностью, низким аэродинамическим сопротивлением, высокой несущей способностью конструкции и монолитностью. Недостатки крепи: сравнительно большой объем проходческих работ, необходимость применения временной крепи на значительных расстояниях, усложнение общей организации сооружения выработок (особенно выработок с малыми поперечными сечениями), значительно большая сметная стоимость, высокая трудоемкость возведения крепи и неспособность воспринимать нагрузку сразу же после ее возведения, вследствие чего при неустойчивых породах эта крепь в период твердения бетона нередко разрушается. Перечисленные недостатки указывают на малую рациональность этого вида крепи для условий Ткибульского месторождения.

Как было отмечено ранее, на некоторых шахтах Ткибульского месторождения (в основном на шахтах-новостройках) нашла применение сборная железобетонная крепь из плит УРП. По сравнению с бетонной крепью сборная железобетонная крепь типа УРП характеризуется более высокими показателями и почти ничем не уступает металлической рамной крепи. С применением крепи УРП при строительстве штолен шахты-новостройки «Комсомольская» были достигнуты скорости проведения выработки 100—120 м/месяц. Этому способствовали сравнительно небольшой объем проходческих работ и более простая организация сооружения выработки по сравнению с бетонной крепью.

Однако недостатки крепи из плит УРП, к которым в первую оче-

редь относятся низкая несущая способность, значительное аэродинамическое сопротивление, большой расход материала — железобетона (особенно арматуры — до 180 кг на 1 м выработки), ограничивают применение этой крепи.

В отличие от Чиатурского и Ткибульского месторождений горизонтальные капитальные выработки на шахтах треста Ткварчельуголь находятся в более благоприятных условиях, так как породы, в которых они проводятся, устойчивы.

Из 22 км поддерживаемых ежегодно капитальных выработок на шахтах треста Ткварчельуголь деревянной крепью закреплено 8,7 км, металлической рамной 7,7 км и бетонной 5,6 км.

На строящейся шахте № 8 сборной железобетонной крепью УРП закреплены выработки общей протяженностью 4240 м.

В условиях Ткварчели выработки, закрепленные деревом, находятся в более благоприятных условиях, чем на шахтах и рудниках Ткибули и Чиатура, так как они проведены в породах достаточно устойчивых. Однако, по причине гниения древесины, крепь через 16—18 месяцев все же теряет прочностные свойства и требует полного перекрепления. Расходы по поддержанию в этих выработках достигают значительных величин (табл. 3), что указывает на нецелесообразность ее применения в капитальных выработках.

Таблица 3

Выработки	Сечение в свету, м ²	Трудовые затраты и расходы на поддержание 1 м выработки в год					
		1962 г.			1963 г.		
		чел.-смен	крепежный лес, м ³	всего, руб.	чел.-смен	крепежный лес, м ³	всего руб.
Полевой штрек № 230 шахты № 3	5,5	1,03	0,36	38—20	0,85	0,44	36,20
Северный вентиляцион- ный полевой штрек шахты № 5	6,2	1,1	0,35	40—40	0,9	0,4	39,20

Преимущества металлической крепи перед деревянной в выработках со сроком службы 15 лет не вызывают сомнения, однако наличие в крепи деревянных затяжек значительно снижает это преимущество.

Широкое применение металлической крепи ограничивается дефицитностью двутавровых балок; большой расход металла сдерживает возможность ее применения во всех капитальных выработках взамен деревянной крепи.

Значительное распространение монолитной бетонной крепи на

шахтах треста Ткварчельуголь обусловлено большим числом выработок со сроком службы 25—30 лет и более.

В заключение следует отметить, что анализ условия работы и состояния применяемых на пластовых месторождениях Грузии крепей позволяет в общих чертах определить достоинства или недостатки различных видов конструкции, но не дает возможность полностью определить рациональный тип крепи.

Выбор типа (материал и конструкция) крепи в каждом конкретном случае определяются большим числом факторов, главным из которых является горное давление.

Глава II

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КРЕПЕЙ ПО ФАКТОРАМ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИМ РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ТИПА ГОРНОЙ КРЕПИ

Установление рациональных конструкций крепи для конкретных горногеологических и горнотехнических условий зависит от многих факторов.

Основными факторами, определяющими выбор материала и конструкции крепи (кроме величины горного давления, притока воды и ее агрессивности), являются:

- 1) несущая способность конструкции (абсолютная и на единицу веса);
- 2) трудоемкость процесса возведения крепи;
- 3) объем горных работ по выемке, связанный с толщиной крепи;
- 4) аэродинамическое сопротивление крепи и стоимость энергии, необходимой для подачи воздуха по выработке;
- 5) экономические показатели.

Канд. техн. наук И. Д. Джанджгава предложил методику выбора рационального типа крепи для капитальных горных выработок [3], в основе которой лежат экономические показатели крепи, определяемые суммой затрат, обусловленных вышеперечисленными факторами.

При анализе несущей способности конструкций крепи, кроме абсолютного значения, И. Д. Джанджгава предлагает для оценки всех видов крепи ввести критерий экономичности, который определяется для элементов, работающих на изгиб, из выражения

$$\eta = \frac{M_x}{g a} \quad (1)$$

или

$$\eta = \frac{M_x}{F a}, \quad (2)$$

а для элементов, работающих на сжатие, из выражения

$$\eta = \frac{R_{сж}}{g a} \quad (3)$$

или

$$\eta = \frac{R_{сж}}{Fa}, \quad (4)$$

где M_x — предельный изгибающий момент элемента;

g — вес 1 м элемента крепи;

F — площадь сечения элемента крепи;

$R_{сж}$ — предельная сжимающая сила для данного сечения элемента крепи;

a — стоимость весовой (или объемной) единицы данного материала крепи.

Указанный критерий, по сравнению с существующими [4; 5], рассматривающими только металлические конструкции, является более общим, так как дает возможность рассмотрения всех типов (материал и конструкция) крепи. Но предложенная оценка крепи все же имеет и недостаток, так как в ней рассматривается не конструкция крепи в целом, а только ее отдельные элементы.

Несущая способность конструкции крепи или критерий экономичности должны определяться совокупностью предельных усилий M , R , Q , возникающих в крепи под действием внешней максимальной нагрузки, а не изгибающими или продольными усилиями в отдельности. Поэтому несущую способность или критерий экономичности при оценке того или иного типа (материал и конструкция) горной крепи целесообразно определять по предельной внешней нагрузке.

В силу этого нами предлагается определять критерий экономичности крепи по формуле

$$\eta_1 = \frac{q}{Ga}, \quad (5)$$

где q — максимальная внешняя нагрузка, T/m^2 ;

G — усредненный вес материала крепи, приходящегося на 1 m^2 площади обнажения, т;

a — стоимость весовой единицы материала, руб.

Трудоемкость возведения крепи составляет значительную часть трудовых затрат в цикле работ по сооружению выработки. Трудоемкость крепления достигает 43% от трудоемкости всего цикла проходческих работ. Поэтому при выборе крепи большое значение имеет сравнение различных видов крепи по трудоемкости их возведения. Ясно, что, при прочих равных условиях, предпочтение следует отдавать той крепи, при которой требуются меньшие трудовые затраты на возведение. При анализе фактора трудоемкости необходимо принимать во внимание также и возможность механизации процесса возведения крепи, при том с учетом как существующих, так и перспективных средств.

Объем горных работ, связанных с толщиной крепи, определяется площадью, занимаемой крепью в сечении выработки. Очевидно, что при проведении выработки по пустым породам каждый кубический метр дополнительной выемки породы повышает стои-

мость, а в дальнейшем также увеличивает и поддержание выработки. Если же выработка по всему сечению размещается в пласте полезного ископаемого, то данный фактор в значительной степени теряет свою актуальность. Если же вопрос рассматривать только с точки зрения проявлений горного давления, то всегда предпочтение следует отдавать той крепи, которая занимает меньшую площадь в сечении выработки, т. е. обеспечивает ей минимальный пролет.

Аэродинамическое сопротивление крепи является значительным фактором, определяющим рациональность того или иного вида конструкции крепи. Аэродинамическое сопротивление крепи связано с определенными расходами электроэнергии. Значение этого фактора особенно велико для шахт с большой производительностью и высокой газонасыщенностью.

Экономические показатели крепи определяются суммированием затрат, обусловленных всеми анализируемыми факторами, которые влияют на выбор рационального типа крепи.

Пользуясь вышеизложенной методикой при анализе видов крепей, ниже будут рассмотрены основные конструкции крепи, применяемые в капитальных выработках на шахтах и рудниках Грузии. При этом принимаются наиболее распространенные условия, типичные для пластовых месторождений Грузии, — породы с $f=3\div 6$ и сечения горизонтальных выработок 6, 8 и 10 м².

Анализ крепей по несущей способности или критерию экономичности

Для выявления рациональности той или иной конструкции крепи по несущей способности решающее значение имеет стоимость и расход материала. Предложенный нами критерий экономичности достаточно точно может оценить различные конструкции крепи,

С целью сравнения между собой различных видов крепи в табл. 4 приведены их характеристики. Как видно из приведенных данных, высокой несущей способностью и показателями экономичности в наибольшей степени характеризуется металлическая рамная крепь. Самыми низкими показателями экономичности и несущей способности характеризуется крепь УРП. Это явление указывает на нерациональное использование материала в сборной железобетонной крепи типа УРП.

Таким образом, металлическая рамная крепь по несущей способности и по экономичности может быть признана более рациональной, чем остальные рассматриваемые нами конструкции.

Трудоемкость и уровень механизации возведения крепи

Трудоемкость возведения различных конструкций крепи в условиях пластовых месторождений Грузии в зависимости от площади поперечного сечения выработки приведена в табл. 5.

Таблица 4

Конструкция крепи	Сечение выработ- ки в свету, м ²	Макси- мальная несу- щая способ- ность крепи, т/м ²	Расход материалов на 1 м выработки				Средний вес мате- риала, приходя- щийся на 1 м ² обнажения, т	Стоимость 1 т мате- риала, руб.	Показатель экономич- ности $\eta = \frac{q}{G a}$
			бетон, м ³	железобетон, м ³	металл (двутавр, т)	бутобетон, м ³			
Смешанная крепь — стены.	6	8			0,19	2,2	0,063* 0,9		0,9
Бутобетонные или из каменной кладки	8	6			0,25	2,4	0,062* 1,0	70** 5	0,64
Перекрытие из двутавровых ба- лок № 20, № 22 с деревянной за- тяжкой (на 1 м выработки две балки)	10	5			0,36	3,1	0,072* 1,3		0,44
Металлическая рамная крепь .	6	6			0,29		0,041		1,2
из двутавровых балок № 18 .	8	4			0,34		0,042		0,82
(на 1 м выработ- ки 1,5 рамы) .	10	2,5			0,38		0,042	120	0,53
Монолитная бе- тонная крепь .	6	5	2,0				0,45		1,1
M-110	8	4	2,6				0,52	10	0,8
	10	3	3,2				0,6		0,5
Железобетонная сборная крепь .	6	2		0,6			0,18		0,45
УРП	8	2,5		0,65			0,17	25	0,6
	10	2		0,7			0,17		0,45

* В числителе — расход металла, в знаменателе — бутобетонной кладки.

** В числителе — стоимость металлических балок, в знаменателе — стоимость бутобетонной кладки. Стоимость материалов принята по действующим расценкам на месторождениях Грузии.

Как видно из данных таблицы, несмотря на лучшие показатели металлической крепи, все же величина трудовых затрат на ее возведение весьма высока. Это объясняется тем, что до настоящего времени возведение крепи производится исключительно вручную.

Снижение трудовых затрат на возведение крепи возможно путем механизации этого процесса. В настоящее время выявлены удельные веса тех операций, которые могут быть механизированы при возведении крепи [3]. Так, удельный объем крепежных работ, поддающихся механизации, составляет для деревянной крепи

Таблица 5

Сечение выработки и свету, м ²	Трудовые затраты на возведение крепи 1 м выработки, чел.-смен			
	смешанная крепь	металлическая крепь	монолитная бетонная крепь	крепь УРП-П
6	2,2	1,4	2,0	1,8
8	2,6	1,8	2,4	2,2
10	3,0	2,2	2,8	2,6

60,3%, для металлической 47,0%, для крепи из плит УРП 35,2% и, наконец, для монолитной бетонной крепи он достигает более 71%. Таким образом, наибольшей возможностью механизации крепижных работ обладает монолитная бетонная крепь. При этом необходимо отметить, что высокий уровень механизации при возведении бетонной крепи, достигнутый благодаря применению инвентарных или передвижных опалубок и бетононасосов, которые успешно используются при строительстве различных подземных сооружений специального назначения (гидротоннели, железнодорожные тоннели и др.), в выработках горной промышленности, имеющих малые площади поперечного сечения, затруднителен. Кроме того, вследствие загроможденности проходимых выработок оборудованием, что усложняет транспорт и создает условия, исключающие параллельное производство работ, значительно увеличиваются сроки строительства.

Представляет интерес новое направление механизации возведения монолитной бетонной крепи — безопалубочное бетонирование или крепление шприц-бетоном. Применение шприц-бетона позволяет достигнуть 100%-ной механизации возведения бетонной крепи, значительно увеличивает производительность труда, уменьшает объем горных работ, упрощает и удешевляет работу, в результате этого ускоряется строительство. Однако из-за недостаточного опыта применения шприц-бетона, неизученности его как несущей конструкции применительно к различным горногеологическим условиям и неясности вопроса об областях его применения исключается возможность рекомендовать его в настоящее время для широкого использования при сооружении капитальных горизонтальных выработок.

Сравнительно меньше удельный объем операций, поддающихся механизации, приходится на сборные конструкции крепи, он колеблется в пределах 35—60%. Здесь необходимо отметить, что многочисленные типы и конструкции крепеукладчиков [6], созданные для возведения сборной крепи, являются неэффективными и неработоспособными механизмами. Поэтому создание работоспособного крепеукладчика и на сегодня является актуальной задачей.

Объем горных работ, связанный с толщиной крепи

Как указывалось выше, при выборе типа крепи одним из факторов является доля в сечении площади, занимаемой этой крепью, которая определяет объем горных работ на проведение 1 м выработки. Абсолютные и относительные значения площади, занимаемой рассматриваемыми нами крепями в поперечном сечении выработки, сведены в табл. 6.

Таблица 6

Сечение выработки в свету, м ²	Площадь, занимаемая крепью							
	смешанной		металлической		монолитной бетонной		УРП	
	ΔS , м ²	$\Delta S'$, %	ΔS , м ²	$\Delta S'$, %	ΔS , м ²	$\Delta S'$, %	ΔS , м ²	$\Delta S'$, %
6	5,0	45	2,5	30	2,8	32	2,0	25
8	5,2	40	3,0	27	3,3	30	2,1	21
10	5,5	37	3,3	25	5,0	33	2,2	18

Через ΔS обозначена площадь, занимаемая крепью, включая переборы, т. е. площадь в проходке минус площадь в свету $-\Delta S = S_{\text{пр}} - S_{\text{св}}$. Относительная величина $\Delta S'$ (%) получается делением абсолютной величины ΔS на полную площадь выработки в проходке, т. е.

$$\Delta S' = \frac{\Delta S}{S_{\text{пр}}} \cdot 100, \%$$

Как видно из данных, приведенных в табл. 6 с точки зрения объема горнопроходческих работ, наиболее экономичной является сборная железобетонная крепь типа УРП.

Стоимость энергии, расходуемой для подачи воздуха по выработке

Стоимость энергии, расходуемой на движение воздуха по выработке, в значительной степени определяется видом применяемой крепи и ее параметрами. Поэтому не случайно многие авторы считают, что при выборе типа крепи одним из решающих факторов является ее аэродинамическое сопротивление. Особенно это важно для выработок с большим сроком службы и при значительном количестве пропускаемого по ней воздуха.

Стоимость энергии, расходуемой на движение воздуха по выработке, определяется по следующей формуле:

$$A = K \frac{h Q}{102 \eta} i u, \quad (6)$$

где K — стоимость 1 квт·ч электроэнергии, руб.;
 h — депрессия выработки, мм вод. ст.;
 Q — количество воздуха, м³/сек;
 η — к. п. д. двигателя вентилятора;
 i — число часов в сутки;
 n — число суток в году.

Депрессия выработки определяется по формуле

$$h = a \frac{P L Q^3}{S^3}, \quad (7)$$

где a — коэффициент аэродинамического сопротивления выработки, кг·сек²/м⁴;

P — периметр выработки, м;

L — длина выработки, м;

S — площадь поперечного сечения выработки в свету, м².

Количество воздуха Q определяется по формуле

$$Q = VS,$$

где v — средняя скорость воздуха выработки, м/сек.

По проектным данным месторождений Грузии v принята в пределах 5—7 м/сек. В дальнейшем для сравнительных расчетов примем $v=6$ м/сек. Следовательно, расчетные величины количества воздуха для рассматриваемых нами сечений $S_1=6$ м², $S_2=8$ м², $S_3=10$ м² соответственно будут 36; 48 и 60 м³/сек.

Расчетные данные и результаты определения величин депрессий для рассматриваемых нами конструкций крепей представлены в табл. 7.

Таблица 7

Конструкция крепи	Сечение выработки в свету, м ²	$a \cdot 10^4$	Q , м ³ /сек	Q^3	P , м	S^3	h , кг/м ²
Смешанная крепь	6	8,2	36	1296	10,0	216	0,049
	8	8,0	48	2304	11,5	512	0,041
	10	7,9	60	3600	13,3	1000	0,038
Металлическая крепь	6	21,0	36	1296	10,0	216	0,116
	8	19,5	48	2304	12,0	512	0,105
	10	18,8	60	3600	13,0	1000	0,090
Монолитная бетонная крепь	6	5,0	36	1296	9,3	216	0,022
	8	5,0	48	2304	10,8	512	0,019
	10	5,0	60	3600	12,1	1000	0,017
Крепь УРП	6	11,0	36	1296	10,1	216	0,067
	8	10,0	48	2304	11,4	512	0,051
	10	10,0	60	3600	13,0	1000	0,047

Величины $\alpha \cdot 10^4$ приняты по литературным данным [7, 8].

Как видно из приведенных в табл. 7 данных, при прочих равных условиях, самыми высокими величинами депрессии характеризуется металлическая рамная крепь из двутавровых балок*, а самыми низкими — монолитная бетонная крепь.

На основе данных табл. 7 и по формуле (6) определим стоимость энергии, затрачиваемой на проветривание и отнесенной к 1 м выработки. Стоимость 1 кВт·ч энергии принимаем по тарифу $K=1$ коп. (для Грузии), число часов в сутки $i=24$; число суток в году $n=365$. Результаты подсчетов сведены в табл. 8.

Таблица 8

Сечение выработки в свету, м ²	Стоимость электроэнергии А (руб.), необходимой для подачи воздуха по 1 м выработки при крепи			
	смешанной	металлической	бетонной	УРП
6	1,93	4,48	0,85	2,59
8	2,13	5,18	0,98	2,64
10	2,46	5,83	1,1	3,05

Как видно из данных, приведенных в табл. 8, наиболее высокие затраты по расходу энергии на проветривание создает металлическая крепь из двутавровых балок, т. е. она является наименее эффективной по фактору вентиляции. Это главным образом вызвано большой высотой профиля, увеличившего коэффициент аэродинамического сопротивления. Необходимо отметить, что предложения некоторых авторов [7] о применении двойной затяжки для уменьшения α в рамных крепях из двутавра вряд ли даст необходимый эффект, так как в этом случае, кроме повышения расхода материалов, значительно понизится и производительность труда по введению крепи.

Сказанное выше позволяет отметить, что с точки зрения стоимости энергии, необходимой для подачи воздуха, наиболее целесообразно применение металлической крепи из двутавровых балок в капитальных горизонтальных выработках. Более эффективной в этом случае является монолитная бетонная крепь.

По фактору вентиляции крепь УРП хотя значительно эффективнее, чем металлическая рамная, но все же по сравнению с монолитной бетонной крепью она является малоэффективной. Следовательно, одним из условий (с точки зрения вентиляции) успеш-

* Величина депрессии в выработках, закрепленных металлическими рамами из двутавровых балок, может быть значительно снижена, если затяжки укладывать не по верхним полкам двутавра, а по нижним, что часто делается на практике. (Прим. ред.)

ного применения сборных крепей в выработках с большим сроком службы является достижение в ее конструкции гладкости внутренней поверхности.

Экономические показатели

При экономической оценке различных конструкций крепей должны учитываться как капитальные, так и эксплуатационные расходы, связанные с данным видом крепи. Под капитальными расходами имеются в виду первоначальные затраты на проведение и возведение крепи, а эксплуатационные расходы включают расходы на энергию для проветривания на весь срок ее существования¹.

Следовательно, сумма расходов на сооружение и эксплуатацию крепи 1 м выработки в общем виде можно выразить следующим образом:

$$A = A_1 + A_2, \quad (8)$$

где A_1 — стоимость 1 м выработки в готовом виде;

A_2 — расходы на подачу воздуха по выработке.

Пользуясь сборником № 32 «Единых районных единичных расценок на горнопроходческие работы» [9], определяем затраты A_1 для рассматриваемых нами конструкций крепей в условиях Грузии. В табл. 9 приводится стоимость 1 м готовой выработки по прямым нормируемым расходам для различных видов крепи. Как видно из этих данных, наиболее высокую стоимость имеют выработки, закрепленные смешанной и монолитной бетонной крепями, а наиболее низкую — выработки, закрепленные крепью типа УРП и металлической рамной. Если же принять во внимание эксплуатационные расходы, учитывающие стоимость энергии проветривания, то положение резко изменится.

Принимая средний срок службы капитальных горизонтальных выработок 20 лет и пользуясь данными табл. 8 и 9, определим суммарные расходы на 1 м выработки для различных видов крепи (табл. 10).

Из табл. 10 видно, что по капитальным и эксплуатационным расходам наиболее дорогостоящей является металлическая крепь из двутавровых балок. Монолитная бетонная и железобетонная крепь УРП характеризуется одинаковыми экономическими показателями. Таким образом, при экономической оценке крепи капитальных выработок важное значение имеет фактор вентиляции. Это обстоятельство указывает на безусловную целесообразность

* В настоящее время на шахтах и рудниках Грузии находят опытное применение железобетонные затяжки. Для упрощения расчетов вместо смешанной и металлической крепей с деревянной затяжкой нами принимаются крепи с железобетонной затяжкой, что позволяет не учитывать расходы на их ремонт. (Прим. авт.).

мероприятий, обеспечивающих уменьшение аэродинамического сопротивления крепи.

Таблица 9

Вид крепи	Сечение выработки в свету, м ²	Стоимость 1 м готовой выработки по прямым нормируемым расходам, руб.		
		проведение	крепление	полная стоимость 1 м выработки
Смешанная крепь	6	78,1	50,7	143,4
	8	93,7	57,5	171,4
	10	110,0	76,0	206,9
Металлическая крепь	6	57,8	50,3	122,7
	8	78,1	65,9	164,2
	10	94,4	73,2	188,5
Монолитная бетонная крепь	6	59,8	50,0	125,4
	8	80,2	65,0	165,4
	10	106,5	80,0	207,4
УРП	6	52,4	49,8	116,8
	8	71,7	53,9	145,8
	10	86,6	58,1	165,6

Таблица 10

Сечение выработки в свету, м ²	Стоимость выработки по капитальным и эксплуатационным расходам, руб.											
	Смешанная крепь			Металлическая крепь			Монолитная бетонная крепь			Крепь УРП		
	капитальные затраты	эксплуатационные затраты	полная стоимость	капитальные затраты	эксплуатационные затраты	полная стоимость	капитальные затраты	эксплуатационные затраты	полная стоимость	капитальные затраты	эксплуатационные затраты	полная стоимость
6	143,4	38,6	182,0	122,7	89,6	212,3	125,4	17,0	142,4	116,8	51,8	168,6
8	171,4	42,6	214,0	164,2	103,6	267,8	165,4	19,6	185,0	145,8	52,8	198,6
10	206,9	49,2	256,1	188,5	116,6	305,1	207,4	22,0	229,4	165,6	61,0	226,6

Из анализа применяемых конструкций крепей по горнотехническим и экономическим факторам, определяющим рациональность их типов, следует:

1. Металлическая рамная крепь из двутавровых балок, помимо дефицитности материала, с точки зрения стоимости энергии по фактору вентиляции является наиболее неэкономичной, особенно для выработки со значительным сроком службы.

2. Смешанной и монолитной бетонной крепи свойственны высокая трудоемкость, большой объем проходческих работ, связанный

со значительной толщиной крепи, и наихудшие экономические показатели (особенно капитальные затраты).

3. Сборная железобетонная крепь УРП с точки зрения трудоемкости возведения имеет практически те же показатели, что и металлическая рамная крепь. Кроме того, она характеризуется невысокой первоначальной стоимостью (капитальные затраты), малым объемом горных работ, связанных с толщиной крепи, и др. Однако невысокая несущая способность крепи УРП, нерациональность использования материала в конструкции, высокое аэродинамическое сопротивление указывают на малое конструктивное совершенство данного типа крепи.

4. Проведенный анализ показал несовершенство всех применяемых видов крепей для капитальных горизонтальных выработок Грузии. Однако выявил известную рациональность сборного железобетона как материала крепи.

5. На основании проведенного анализа можно установить, что при выборе рационального типа (материал и конструкция) крепи для капитальных горизонтальных выработок Грузии наиболее правильно ориентироваться на сборные железобетонные конструкции.

Глава III

СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КРЕПИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Анализ различных конструкций крепей по факторам, определяющим рациональность типа горной крепи, выявил целесообразность применения в горизонтальных выработках сборной железобетонной крепи. С целью определения рациональной конструкции крепи необходимо осуществить тщательный обзор и анализ существующих сборных железобетонных крепей, созданных для крепления горизонтальных выработок.

В настоящее время имеется много различных видов конструкции сборных железобетонных крепей, которые нашли промышленное или опытное применение. Для проведения обзора сборных железобетонных крепей необходима их систематизация. В этой связи представляет интерес предложение доц. И. Н. Кацаурова [10], который более конкретно и полно определяет конструкцию крепи. Он классифицирует сборные железобетонные крепи горизонтальных выработок по следующим признакам.

По конструкции основного несущего элемента

1. Рамные: с затяжкой; сплошные; панельные.
2. Арочные: с затяжкой; сплошные.
3. Кольцевые: с затяжкой; сплошные (тюбинговые).

По форме поперечного сечения основных несущих элементов

1. Прямоугольные: сплошные; пустотелые.
2. Тавровые.
3. Коробчатые.
4. Кольцевые.
5. Сводчатые.
6. Желобчатые.
7. Скорлупные.
8. Рельсовидные.

Пользуясь предложенной И. Н. Кацауровым классификационной схемой и существующими материалами, автором предлагается классификация, приведенная в приложении, охватывающая все

характерные признаки применяемых в горизонтальных выработках сборных железобетонных крепей.

Прежде чем приступить к рассмотрению предлагаемой классификации сборных железобетонных крепей, отметим основные требования, которые должны быть предъявлены к конструкциям крепей для горизонтальных капитальных выработок:

1. Крепи должны быть прочными и способными воспринять усилие, возникающее от горного давления.

2. Обеспечивать минимальное аэродинамическое сопротивление.

3. Иметь простые по конструкции узлы, обеспечивающие некоторую шарнирность и способность работать совместно с породой.

4. Состоять из элементов с минимальным числом типоразмеров, простых по очертанию и по возможности унифицированных и удобных для массового изготовления при несложном оборудовании.

5. Иметь такие габариты и вес, чтобы возведение крепи было удобным при использовании легких и негромоздких механизмов.

6. Конструкция крепи должна обеспечивать легкую и удобную разборку ее элементов для повторного использования при погашении выработок.

Принимая во внимание изложенное, с целью выявления рациональных видов крепей, применительно к условиям горизонтальных выработок шахт и рудников Грузии, рассмотрим предложенную нами классификацию (см. приложение).

Как видно из таблицы (схемы 1—8), к рамным конструкциям с затяжкой относятся крепи трапециевидного очертания. Этот вид крепей, с точки зрения технологичности и трудоемкости возведения, является наиболее простым, поскольку он имеет минимальное число прямолинейных элементов. Однако, с точки зрения наилучшего использования несущей способности железобетона, эти крепи являются малоэффективными. Верхняки в трапециевидных крепях под действием вертикальной нагрузки работают на поперечный изгиб, при этом бетон в растянутой зоне выключается из работы. Вследствие этого в рамных крепях, даже для выработок небольших сечений и с устойчивыми боковыми породами, вес верхняков составляет 120—150 кг, а для выработок больших сечений он достигает 300—500 кг. Предусматривать для уменьшения пролета верхняка средний ряд стоек (крепей ВНИИОМШС и КузНИИШахтострой) нецелесообразно, так как при этом возрастает стоимость крепи, ухудшаются условия проветривания и увеличивается поперечное сечение выработки. Таким образом, областью рационального применения рамных трапециевидных крепей с затяжкой являются выработки небольших сечений, пройденные в устойчивых породах. Подтверждением изложенного является тот факт, что указанные крепи получили распространение только в однопутевых выработках.

Аналогичные недостатки характерны и для рамных сплошных крепей трапециевидного очертания, разработанных для однопутевых и двухпутевых выработок Центрогипрошахтом, Гипроцветме-

том и Гипрошахтом (см. приложение, схемы 19, 26 и 34). Эти конструкции крепи, кроме отмеченных недостатков, характеризуются большими размерами отдельных элементов ($0,75 \cdot 3,5 \div 0,395 \cdot 3,86$ м), вес которых достигает 830 кг и более, в силу чего они явно нерациональны. Кроме того, их элементы требуют для установки мощных громоздких крепеукладчиков, применение которых в стесненных условиях рабочего пространства горной выработки очень трудно осуществимо. Поэтому указанные крепи до настоящего времени не нашли промышленного применения.

Рамные сплошные железобетонные крепи, предназначенные для крепления капитальных горных выработок, сооружаемых в устойчивых породах с длительным сроком службы и большой протяженностью, получили преимущественное распространение. Причиной этого является: во-первых, универсальность элементов, дающая возможность использовать их для различных сечений выработок, во-вторых, несущие и ограждающие функции в элементах сплошной крепи объединены и не требуют применения затяжек, и в-третьих, рациональность полигональной формы для выработок большого сечения, так как сокращается длина элементов (верхняков) и тем самым сокращаются величины изгибающих моментов.

Рассмотрим рамные сплошные конструкции, начиная с крепей из пустотелых плит. К этим конструкциям относятся крепи, разработанные Центрогипрошахтстроем — ППК-2 и ППКН-2. ВНИИОМШСом — УПП, и крепь, разработанная ЦНИИПодземшахтстроем, — НАП.

Из приложения (схемы 9—16) видно, что среди этих конструкций при прочих равных условиях, наиболее высокими технико-экономическими показателями характеризуется крепь НАП, разработанная ЦНИИПодземшахтстроем. Эта крепь обладает небольшим весом и гладкостью элементов, что более отвечает требованиям крепи капитальных горизонтальных выработок, сооружаемых в устойчивых породах.

Крепь ПБКН, разработанная Центрогипрошахтстроем, может быть признана как наиболее экономичная по расходу стали, но большой вес ее элементов, завышенный расход бетона (см. приложение, схемы 17 и 18) и невозможность изготовления ее в любых условиях (так как производство этой крепи требует специальной пресс-бетонной установки) указывают на невозможность широкого ее применения.

Из рамных сплошных крепей в промышленности наиболее широкое распространение получили крепи типа УРП, разработанные ВНИИОМШСом. К этим видам относятся (см. приложение, схемы 20—25) крепи: УРП-II, УРПС, УРПМ, УТЭ. Несмотря на многолетнее применение, крепь УРП-II в настоящее время снята с производства и фактически не применяется. Главной причиной этого является низкая несущая способность крепи, вследствие чего, как показало обследование шахт Донбасса специальной комиссией, эту крепь можно устанавливать лишь в тех выработках, где практи-

чески нет горного давления. Низкая несущая способность УРП определяется, в частности, также и недостатками конструкции узлов соединения. Крепь УРП также характеризуется неэкономичностью по расходу материалов (особенно металла) и высоким аэродинамическим сопротивлением.

Необходимо отметить, что крепь УРПС, разработанная Донецк-гипрошахтом, в основном не отличается от крепи УРП и имеет те же недостатки (хотя по расходу металла более экономична). Кроме того, эта крепь характеризуется весьма большой сложностью изготовления.

Учитывая недостатки в конструкции УРП-II, ВНИИОМШСом разработаны крепи УРПМ и УТЭ. Эти конструкции (см. приложение, схемы 24 и 25) применяются в промышленности взамен крепи УРП и могут быть использованы в условиях Грузии.

Крепь УЭСК, разработанная ВНИИОМШСом, экономичнее по расходу бетона и металла, чем крепь УРП, но имеет те же конструктивные недостатки в узлах сопряжения, что и в крепи УРП. Отсутствие торцовых диафрагм снижает несущую способность элементов УЭСК и определяет возможность ее применения в выработках, где практически нет горного давления. На низкую несущую способность крепи УЭСК указывает ее опытное применение на ряде шахт-новостроек Донбасса. Так, например [11], на шахте № 1 «Мушкетовская-Заперевальная» треста Донецкшахтострой при промышленных испытаниях в крепи появились трещины в середине свода-оболочек, распространявшиеся вдоль всего элемента. Трещины наблюдались во всех элементах рамы. Разрушались также опоры (узлы) сводов. Кроме малой несущей способности, недостатками крепи УЭСК являются: трудности забутовки пространства за крепью, особенно в пятах сводов; увеличение выемки породы при проведении выработки; сложная технология производства.

Учитывая ненадежность узлов сопряжения конструкций в крепи УЭСК, институтом Карагандагипрошахт разработана универсальная пространственная крепь УПК, элементы которой изготавлиются с торцовыми диафрагмами (см. приложение, схемы 29 и 30). Изготовление сводов-оболочек УПК предусматривается двумя способами: на центрифугирующих роликовых станках в неразъемных металлических формах, по два элемента в форме, и на вибростолах с применением поддона и передвижной кассеты с разгрузочными воронками. Достоинство и недостатки крепи УПК примерно такие же, как и вышензложенной крепи УЭСК; но наличие в элементах торцовых диафрагм повышает по сравнению с УЭСК их несущую способность, улучшает сопряжение в узлах, но усложняет и удорожает изготовление крепи.

Вышензложенные недостатки крепей УЭСК и УПК, а также сложность их производства дают основание считать, что эти конструкции неприемлемы для капитальных горизонтальных выработок шахт и рудников Грузии.

Представляют интерес конструкции крепи из армоцемента, разработанные Центрогипрошахтстроем (см. приложение, схемы 31, 37 и 42).

Армоцемент — материал, получаемый в результате заполнения цементно-песчаным раствором пакета стальных сеток. Раствор состоит из чистого кварцевого песка и цемента, при расходе последнего 600—800 кг на 1 м³ песка. Стальные сетки из проволоки диаметром 0,5—1,5 мм и размером ячеек 1 см укладываются пакетами одна на другую, с прокладками в виде шайб, располагаемыми равномерно по сечению. Содержание стали в 1 м³ армоцемента составляет 400—500 кг. По пакету сеток наносится раствор, элементы могут изготавливаться толщиной от 12 мм и более. Несмотря на большой расход металла и цемента на 1 м³ армоцемента, затраты материалов на 1 м выработки благодаря малой толщине элементов почти в два раза меньше, чем в крепи УРП, вес элементов равной площади меньше в 1,5—2 раза.

Крепь из армоцемента является весьма перспективной благодаря ряду отличающих ее свойств; она обладает упругостью, водостойкостью и легкостью. Освоение технологии изготовления и промышленное испытание армоцементных конструкций определяет их успешное применение в горной практике. Однако в настоящее время еще нет достаточного опыта использования армоцемента в качестве крепи.

Бочкообразная крепь (см. приложение, схема 33) Мосбассгипрошахта нами не рассматривается, так как она создана для сложных горногеологических условий Мосбасса.

Из арочных конструкций как с затяжкой, так и сплошных — панельных для устойчивых пород с $f=3$ и выше самыми высокими технико-экономическими показателями характеризуется арочная гладкая крепь АГК, разработанная УкрНИИОМШСом (см. приложение, схема 41). Крепь АГК обладает универсальностью, сплошностью конструкции, сравнительной легкостью и гладкостью элементов и более положительно отвечает требованиям капитальных выработок, сооружаемых в устойчивых породах на пластовых месторождениях Грузии.

Остальные конструкции крепи, приведенные в приложении (арочные замкнутые, кольцевые — сплошные, тубинговые), не представляют интереса для рассматриваемых горногеологических условий Грузии.

Обзор сборных железобетонных крепей позволил выявить несколько конструкций: НАП, УРПМ, УТЭ и АГК, которые более полно отвечают требованиям к крепи капитальных горизонтальных выработок, сооружаемых в устойчивых породах и применительно к условиям Грузии.

Прежде чем перейти к анализу указанных крепей, считаем целесообразным изложить более полно основные технико-экономические и конструктивные показатели этих конструкций и далее произвести тщательное сравнение их между собой для выявления бо-

лее рациональной конструкции. Рассмотрим указанные конструкции последовательно, начиная с крепи НАП.

Железобетонные напряженно армированные плиты НАП (рис. 2), разработанные институтом ЦНИИПодземшахтостроем, предназначены для крепления горизонтальных горных выработок трапецевидной и полигональной форм поперечного сечения, проводимых вне зоны влияния очистных работ в породах с $f=3\div 9$ при отсутствии геологических нарушений и пучащих пород [12].

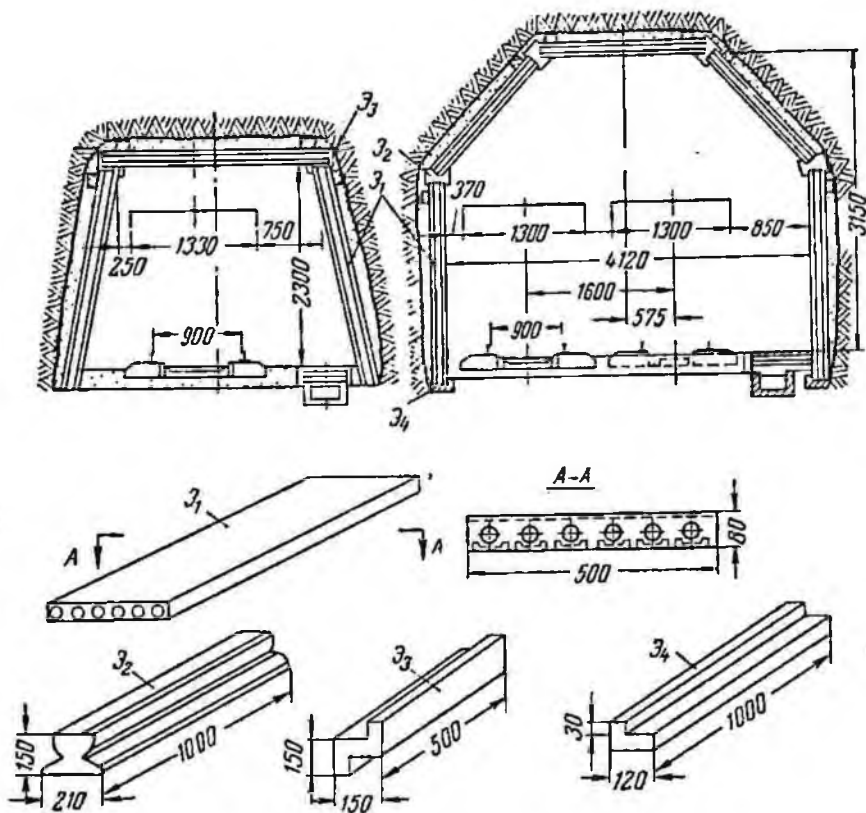


Рис. 2. Сборная железобетонная крепь из напряженно армированных плит (НАП)

Элементы НАП представляют собой гладкие напряженно армированные пустотелые плиты шириной 500 мм и высотой 80 мм. Плиты предусматривается изготавливать 5 типоразмеров для крепления однопутевых и двухпутевых выработок с площадью поперечного сечения в свету от 5,6 до 11,5 м². Соединение элементов крепи осуществляют с помощью вкладышей Z-образной формы в выработках трапецевидной формы и с помощью вкладышей УВШ в выработках полигональной формы. Крепь устанавливают вплот-

ную. В двухпутевых выработках установку крепи производят на фундаментальные плиты.

Изготовление железобетонных плит НАП предусматривает производить на бетонизирующем агрегате из бетона марки 300. Плиты армируют витками высокопрочной проволоки диаметром 2,6 мм.

Плиты НАП рассчитаны на восприятие горного давления от 1,8 до 2,5 Т/м².

Конструкция крепи НАП рекомендована к опытно-промышленному применению.

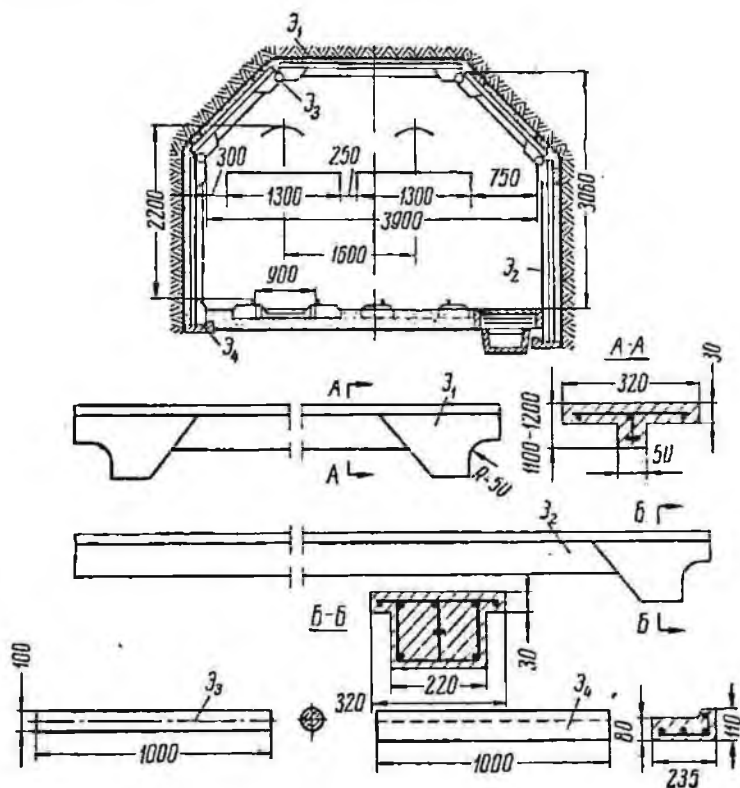


Рис. 3. Сборная железобетонная крепь из универсальных ребристых плит (УРПМ)

Достоинством этой крепи являются:

универсальность при малом числе типоразмеров элементов крепи, которые отличаются лишь только длиной;

технологичность конструкции плит, позволяющая организовать поточное высокомеханизированное производство элементов крепи на полигонах, оборудованных бетонизирующими комбинатами;

небольшое сопротивление движению вентиляционной струи по выработкам благодаря гладкой поверхности плит;

сравнительно малый расход материалов, особенно арматурной стали.

Недостатком крепи НАП является большой вес элементов и нетехнологичность изготовления вкладышей.

Железобетонные универсальные ребристые плиты УРПМ (рис. 3) конструкции УкрНИИОМШСа предназначены для крепления капитальных горизонтальных и наклонных горных выработок полигональной формы поперечного сечения, проводимых вне зоны влияния очистных работ по породам с $f=3 \div 9$ при отсутствии геологических нарушений и пучащих пород.

Плиты УРПМ представляют собой тонкостенную железобетонную конструкцию таврового поперечного сечения шириной 320 мм, опорные части которых имеют сплошное прямоугольное поперечное сечение, чем обеспечивается большая площадь шарнирного опирания плит на железобетонные вкладыши. Изготавливаются плиты УРПМ 10 типоразмеров, подбором которых крепятся все горизонтальные и наклонные выработки с площадью поперечного сечения в свету от 4,5 до 14,4 м². Все плиты подразделяются на 2 типа: к первому типу относятся плиты длиной от 0,8 до 1,45 м, предназначенные для применения в качестве подкосов и верхняков, длиной от 1,65 до 2,15 м в качестве стоек, верхняков и подкосов; ко второму типу — плиты длиной 2,32 и 2,47 м, снабженные одной консолью, которые применяются только в качестве стоек.

Крепь устанавливают вплотную на железобетонные фундаментные плиты. Для изготовления плит принят бетон марки 300. Арматурный каркас плит УРПМ изготавливают из горячекатаной стали марки Ст. 5 периодического профиля диаметром 10—12 мм и круглой стали марки Ст. 3 диаметром 4—8 мм.

Крепь УРПМ рассчитана на восприятие вертикального горного давления от 2 до 3,1 Т/м².

В крепи УРПМ устранены основные недостатки УРП, и она отличается следующим:

тавровое сечение плит УРПМ по сравнению с коробчатым является наиболее экономичным не только с расчетной, но и с конструктивной точки зрения;

сплошная опорная часть плиты УРПМ позволяет воспринять большие контактные напряжения в плите и шарнирном вкладыше и исключает работу последнего на срез;

на плитах, применяющихся в качестве стоек, отсутствуют вторые консоли;

принято полигональное очертание крепи как для двухпутевых, так и однопутевых выработок;

расход материалов на 1 м выработки меньше по сравнению с УРП.

Указанные конструктивные особенности крепи УРПМ позволили улучшить ее технико-экономические показатели по сравнению с крепью УРП:

сечение в проходке однопутевых выработок уменьшается на 12—16%; двухпутевых — на 2—12%;

расход бетона в однопутевых выработках уменьшается на 9—26%; в двухпутевых — на 8—18%; металла — соответственно на 19—35 и на 9—14%;

фактическая стоимость 1 м выработки при крепи УРПМ на 20—25 руб. меньше, чем при крепи УРП.

Производство крепи УРПМ освоено на ряде заводов и полигонов железобетонных изделий в Донецком бассейне. Изготовление плит УРПМ и фундаментных плит осуществляется в неразборных металлических формах виброуплотнением бетона жесткой конструкции на вибростолах с последующей немедленной распалубкой свежееотформованных изделий на поддоны или стенд; распалубка производится путем опрокидывания форм при помощи траверсы.

Недостатками крепи являются:

сравнительно большая трудоемкость и нетехнологичность изготовления;

высокий коэффициент аэродинамического сопротивления выработок;

необходимость применения железобетонных вкладышей, что увеличивает число монтажных элементов на 1 м выработки и тем самым увеличивает трудоемкость возведения крепи.

Крепь УРПМ нашла применение для крепления горизонтальных и наклонных горных выработок шахт Донецкого бассейна и рекомендована также для применения на шахтах других угольных бассейнов с аналогичными горногеологическими условиями.

Железобетонные универсальные ребристые плиты УТЭ конструкции УкрНИИОМШСа (рис. 4) предназначены для крепления капитальных горных выработок полигональной формы поперечного сечения, проводимых вне зоны влияния очистных работ в породах с $f=3\div 9$ при отсутствии геологических нарушений и пучащих пород.

Элементы крепи УТЭ представляют собой тонкостенную железобетонную конструкцию таврового поперечного сечения шириной 320 мм, опорные части которой имеют сплошное прямоугольное сечение и заканчиваются выпуклой и вогнутой поверхностями одного радиуса, при соединении элементов выступающая выпуклая поверхность одного элемента входит в вогнутую поверхность консоли другого, образуя шарнирное соединение. Плиты УТЭ изготавливаются 10 типоразмеров, подбором которых крепятся все горизонтальные выработки с площадью поперечного сечения в свету от 4,8 до 14,2 м². Все плиты подразделяются на 2 типа. К первому типу относятся плиты длиной от 0,85 до 1,45 м, предназначенные для применения в качестве подкосов и верхняков, и от 1,65 до 2,15 м — в качестве стоек, верхняков и подкосов; ко второму типу — плиты длиной 3,32 и 2,47 м, снабженные одной консолью, которые применяются только в качестве стоек.

Крепь устанавливают сплошную на железобетонные фундаментные плиты, аналогичные плитам, применяемым для крепи УРПМ. Элементы крепи изготовляют из бетона марки 300; для их армирования применяют горячекатаную сталь марки Ст. 5 периодического профиля диаметром 12—14 мм и круглую сталь марки Ст. 3 диаметром 4—10 мм. Технология изготовления крепи УТЭ аналогична технологии изготовления крепи УРПМ.

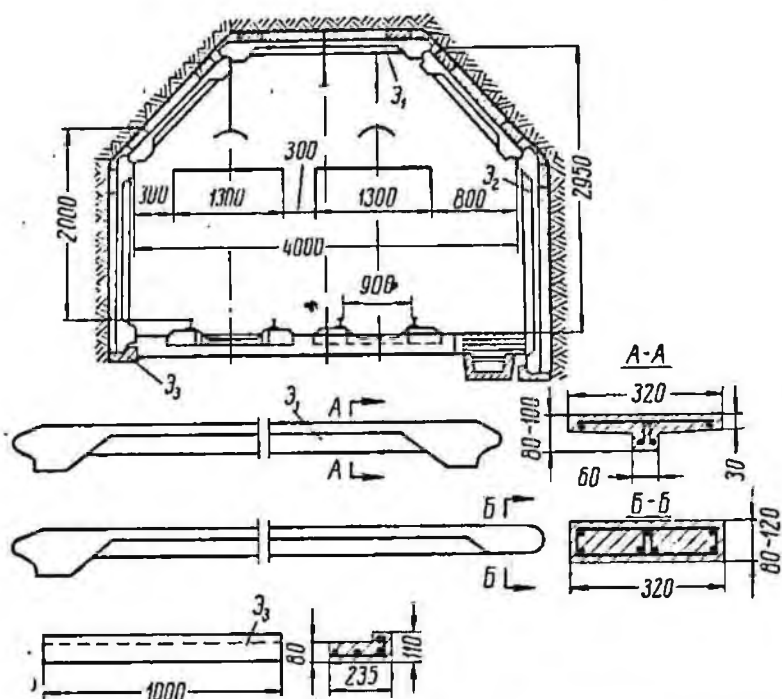


Рис. 4. Сборная железобетонная крепь из универсальных тавровых элементов (УТЭ)

Крепь УТЭ отличается от УРПМ в основном тем, что не имеет в конструкции соединительных вкладышей, что является преимуществом по сравнению с крепью УРПМ.

Крепь рассчитана на восприятие вертикального горного давления от 2,4 до 3,1 T/m^2 .

Достоинствами крепи являются:

- универсальность элементов крепи, дающая возможность использовать одни и те же элементы для различных сечений выработок;
- небольшой расход бетона и металла по сравнению с УРП;
- легкость элементов по сравнению с крепью УРП и отсутствие вкладышей в шарнирном соединении.

Недостатками крепи УТЭ является сравнительно большая трудоемкость и нетехнологичность изготовления ее и высокий коэффициент аэродинамического сопротивления выработок, закрепленных этой крепью.

Крепёж УТЭ прошёл промышленное испытание на шахтах Донецкого бассейна и рекомендован для применения на угольных шахтах других бассейнов с аналогичными горногеологическими условиями. Производство крепи УТЭ освоено на заводах и полигонах железобетонных изделий Ростовского совнархоза.

Железобетонная арочная крепь АГК конструкции УкрНИИОМШа (рис. 5) предназначена для крепления горизонтальных капитальных выработок, проводимых вне зоны влияния очистных работ по породам с $f=3$ и более при отсутствии геологических нарушений и пучащих пород.

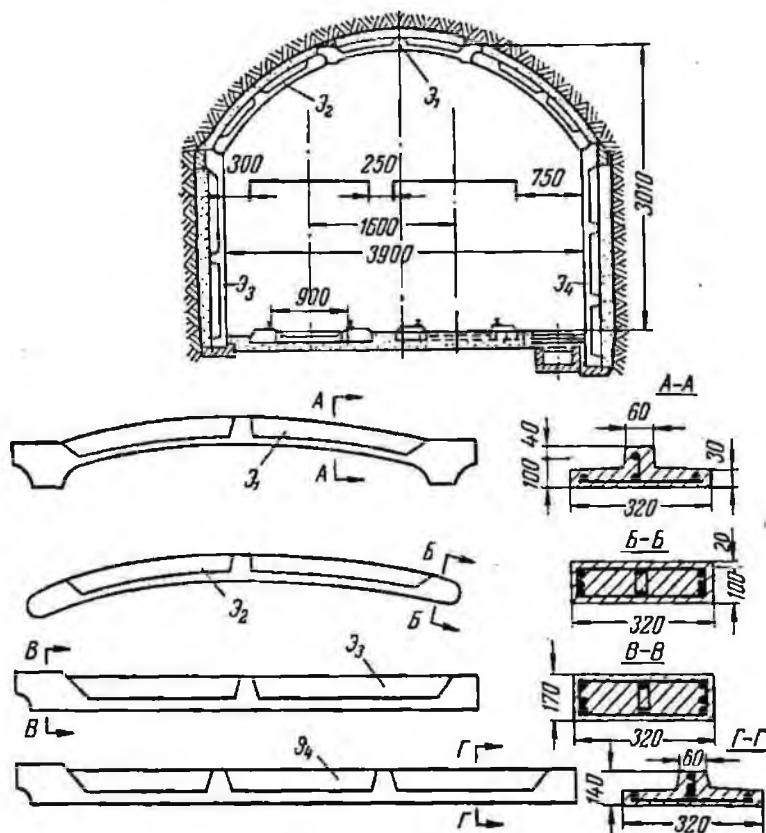


Рис. 5. Арочная гладкая крепь из сборного железобетона (АГК)

Элементы крепи АГК представляют собой тонкостенную железобетонную конструкцию таврового сечения шириной 320 мм и высотой 100—140 мм. На обоих концах верхняков и на одном конце стоек имеются консоли сплошного прямоугольного сечения, которые заканчиваются вогнутыми цилиндрическими опорными поверхностями, служащими для шарнирного опирания на подкосы.

Подкосы для этой цели имеют на концах выпуклую цилиндрическую поверхность. Рама крепи АГК однопутевых выработок с

пролетом до 2,04 м состоит из двух прямолинейных стоек и одного криволинейного верхняка, а рама крепи АГК в выработках с пролетом более 2,04 м состоит из двух прямолинейных стоек и трех криволинейных элементов. При установке в выработке элементы крепи обращены ребрами к породе. Разработано 12 типоразмеров элементов АГК, в том числе 4 типоразмера верхняков, 5 типоразмеров подкосов и 3 типоразмера стоек, подбором которых крепят все однопутевые и двухпутевые выработки с площадью сечения в свету от 5,0 до 14,9 м².

Установка крепи в выработках предусмотрена всплошную на железобетонные фундаментные плиты.

Для изготовления элементов крепи принят бетон марки 300. Арматурный каркас изготавливают из горячекатаной стали марки Ст. 5 периодического профиля диаметром 12—19 мм и круглой стали марки Ст. 3 диаметром 4—8 мм.

Производство элементов крепи АГК может быть организовано на заводах железобетонных изделий и шахтных полигонах, оборудованных пропарочными камерами, вибростолами, подъемнотранспортными средствами и станками для изготовления арматурных каркасов.

Для изготовления элементов крепи применяют жесткий бетон и пакетные или одиночные металлические формы. Гладкая поверхность лицевой стороны элементов обеспечивается применением при их изготовлении вибропригруза.

Крепь АГК рассчитана на восприятие горного давления от 4,6 до 13 Т/м².

Достоинствами крепи АГК являются:

- универсальность элементов крепи;
- небольшой расход материалов (бетона и арматуры);
- легкость элементов и отсутствие вкладышей в шарнирном соединении;
- небольшое сопротивление движению вентиляционной струи по выработкам благодаря гладкой поверхности плит.

Недостатком крепи является сравнительно большая трудоемкость и нетехнологичность изготовления элементов крепи и трудность забутовки закрепного пространства.

Для более детального анализа вышерассмотренных крепей нами предлагается сравнительная табл. 12, составленная для однопутевых и двухпутевых выработок, находящихся в одинаковых горногеологических условиях.

Из данных табл. 11 видно, что самыми высокими технико-экономическими показателями характеризуется железобетонная крепь АГК, разработанная институтом УкрНИИОМШС. Преимущество этой крепи по сравнению с остальными конструкциями заключается в высокой несущей способности (в 2—3 раза большей, чем в остальных сравниваемых), при примерно одинаковом расходе материалов, меньшим объемом горнопроходческих работ и, благодаря легкости сборных элементов, минимальными затратами на возве-

Таблица II

Крепь	Тип выработки	Сечение выработки, м ²		Отношение $\frac{S_{пр}}{S_{ср}}$	Несущая способность крепи, Т, м ²	Вес основного несу- щего элемента (вертика), кг	Число элементов на 1 м выработки	Число типоразмеров	Расход мате- риалов на 1 м выработки		Стоимость 1 м выработки, руб.		Полная стоимость 1 м выработки, руб.
		в проходе	в свету						бетон, м ³	арма- тура, кг	выемка породы	крепление с настилом пути и устройством канавки	
НАП	Однопутевая трапецевид- ная	7,0	5,6	1,25	1,8	175	8		0,460	21,8	108,50	146,88	255,38
	Двухпутевая полигональная	13,6	11,5	1,20	2,5	135	16	5	0,670	36,8	212,16	225,71	437,87
УРПМ	Однопутевая полигональная	7,6	6,0	1,27	3,1	57,5	21	10	0,528	97,7	117,80	168,59	286,49
	Двухпутевая полигональная	13,4	11,2	1,20	2,0	102,5	21		0,634	126,3	209,02	220,09	429,11
УТЭ	Однопутевая полигональная	7,4	5,9	1,25	3,1	65	17	10	0,561	72,0	114,70	179,13	293,83
	Двухпутевая полигональная	12,9	10,8	1,20	2,4	125	17		0,693	100,7	201,24	235,52	436,77
АГК	Однопутевая арочная	6,9	5,6	1,23	13,0	65	17	12	0,473	77,6	106,54	151,05	257,59
	Двухпутевая арочная	11,9	10,2	1,16	7,0	95	17		0,595	85,6	186,00	211,44	397,44

Примечание. Сметные стоимости составлены на основании действующих норм и расценок на проходку и крепление выработок; нормы и расценки указанных крепей приравнены к действующим нормам и расценкам крепи УРП.

дение. Кроме того, следует учесть, что гладкая поверхность выработки при крепи АГК снижает эксплуатационные расходы на проветривание. Так, например, по расчету Центрогипрошахтстроя при применении гладких панелей пустотелых плит вместо ребристых

типа УРП годовая экономия на проветривание 1 км выработки составляет около 3000 руб.

Необходимо также отметить, что крепь АГК уступает крепи НАП лишь по расходу арматурной стали (см. табл. 25), но так как в предварительно напряженных конструкциях обычная арматура заменяется более дорогой высокопрочной проволокой, эффект может оказаться малоощутимым для полной стоимости готовой выработки. Например, как указывают кандидаты техн. наук М. Н. Гелескул и П. Ф. Дроздов [13], экономия даже 80% арматурной стали с заменой оставшихся 20% высокопрочной проволокой приводит к снижению стоимости выработки всего на 4—5%. В действительности снижение стоимости будет еще меньшим, так как применение напряженного армирования вызовет увеличение трудовых затрат. Необходимо также отметить, что изготовление предварительно напряженной железобетонной крепи связано с рядом технологических и производственных трудностей и в ближайшее время ее производство на предприятиях Грузии почти неосуществимо, что дополнительно указывает на несущественность вышеизложенного преимущества крепи НАП по сравнению с крепью АГК.

Таким образом, из рассмотренных видов крепей наиболее рациональной является сборная арочная гладкая крепь АГК, которая характеризуется высокими технико-экономическими показателями и изготовление ее вполне возможно в полигонных условиях Грузии.

Вместе с тем необходимо указать, что несомненное конструктивное преимущество арочной шарнирной системы крепи АГК перед крепями полигонального очертания сводится к минимуму, так как четырехшарнирное перекрытие в конструкции АГК не отличается от перекрытий в полигональных конструкциях и обладает теми же существенными недостатками, о которых будет сказано ниже.

Теоретически считают, что крепь полигонального очертания является вполне устойчивой, так как при установке полигональной крепи в горных выработках проектом предусматривается тщательная расклинка элементов, заполнение и уплотнение закрепленного пространства мелкой породой с проливкой последней цементным раствором, что делает рассматриваемую систему вполне устойчивой в поперечной плоскости. Однако следует отметить, что в условиях практики полная забутовка закрепного пространства вряд ли возможна даже и в том случае, если установить весьма тщательный технический надзор. Предполагаемое уплотнение закрепного пространства тощим раствором песка, гравия и цемента практически нигде не применяется. Кроме того, выполнение тщательного тампажа раствором или бетоном всего объема закрепного пространства требует значительного расхода материалов и вынуждает производить в шахте те же самые работы, которые должны исключаться с применением сборной железобетонной крепи. Все это приводит к тому, что ожидаемое равномерное прилегание железобетонной крепи к породному массиву отсутствует.

В силу этих причин, а также из-за практической невозможности установки полигональной крепи точно по проекту происходит весьма значительное изменение геометрической формы крепи и, как следствие, потеря устойчивости конструкции в целом. При отклонении узлов полигональной системы на 10—15 см от проектной

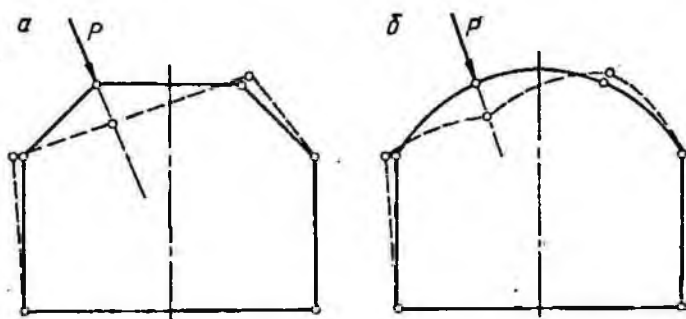


Рис. 6. Схемы возможных поперечных деформаций в шестишарнирных незамкнутых конструкциях:
а — полигональной; б — арочной

происходит выпадение отдельных элементов крепи и разрушение полигональной системы. То же самое происходит и с крепью АГК. Такие явления неоднократно наблюдали на практике. Так, например, в полевом штреке шахты «Егозовская-1» треста Ленинскшахтострой [14] постоянная крепь полигонального очертания из плит УРП значительно утратила проектную геометрическую форму на участке длиной 20 м, и были случаи выпадения отдельных элементов крепи. Здесь также необходимо отметить, что во многих случаях утрата проектной геометрической формы крепи УРП сопровождается разрушением шарниров или сколом консольных приливов. При этом разрушение шарниров и образование продольных сколов в консольных приливах плит наблюдается в выработках полигонального очертания, тогда как у крепи трапецевидного очертания из тех же плит УРП и находящихся в аналогичных условиях, видимых нарушений не имелось [14]. Дело в том, что при действии горного давления шарнирная система смещается и стремится занять свое предельное положение; усилие в шарнирах, определяемое по формуле $Q = \frac{P}{2 \cos \alpha}$, стремится к бесконечности, так как угол α между силой и подкосом стремится к 90° . Практически это означает, что в шарнирах возникают такие усилия, которым не могут противостоять шарнирные узлы любой прочности.

Таким образом, следует признать, что полигональная шестишарнирная система не является рациональной формой поперечного сечения горной выработки. Следовательно, этот существенный недостаток полигональной шестишарнирной системы, а также крепи АГК указывает на необходимость изыскания новых видов железобетонных конструкций для капитальных выработок.

Глава IV

НОВЫЕ ВИДЫ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КРЕПЕЙ

Проанализировав преимущества и недостатки рассмотренных железобетонных крепей, основным направлением при конструировании новых крепей нами было принято создание рациональной и работоспособной крепи. При конструировании новых видов крепи мы ориентировались на следующие условия:

при минимальном расходе материалов элементы крепи должны иметь достаточную несущую способность;

конструкция крепи должна состоять из элементов простых и технологических, удобных при их изготовлении в полигонных условиях с использованием несложного оборудования;

конфигурация крепи геометрически не должна терять устойчивости при отклонении ее от проектного очертания;

вес элементов крепи должен быть небольшим, чтобы возведение ее было удобным при использовании легких приспособлений и механизмов.

Работы по созданию рациональных конструкций железобетонных крепей для шахт и рудников Грузии были начаты применительно к условиям капитальных штолен Чнатурских рудников.

На первом этапе работ по развитию сборных железобетонных конструкций для смешанной крепи взамен металлической балки была запроектирована железобетонная балка рационального профиля, т. е. с максимально возможным изгибающим моментом при соблюдении одного порядка в высоте балки и весе 1 м ее по сравнению с применяемым металлическим профилем. Этим условиям максимально соответствовала запроектированная железобетонная балка с профилем в виде рельса [1].

Сравнительные расчеты показали как техническую, так и экономическую целесообразность замены металла перекрытия в смешанной крепи железобетоном.

Как известно, железобетонная конструкция, работающая на изгиб, менее экономична, чем конструкция, работающая на сжатие. Поэтому для более эффективного использования сборного железобетона целесообразно создание верхняка в виде стропильного

переклада, составленного из двух элементов с рельсовидным профилем сечения (рис. 7). В этом случае пролет балки уменьшается почти в два раза, а требуемый изгибающий момент снижается соответственно почти в 4 раза на 1 м выработки. Как показали расчеты, оптимальными технико-экономическими показателями харак-

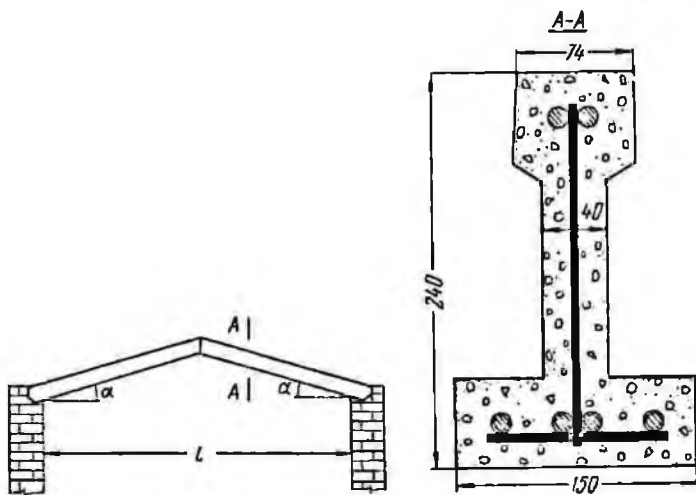


Рис. 7. Схема смешанной крепи со стропильным верхняком

теризуется стропильный верхняк при наклоне элементов под углом $\alpha = 15^\circ$, а возникающие при этом напряжения не выходят за пределы допускаемых.

Дальнейшее совершенствование смешанной крепи со стропильными верхняками с повышением экономии материала возможно путем его замены трехшарнирной аркой с кривизной, соответствующей нулевому изгибающему моменту в любом сечении очертания.

Принципиально решив вопрос выбора крепи из сборного железобетона, необходимо было оформить эту крепь и конструктивно. Перекрытие является трехшарнирной распорной системой, число элементов у которой выбрано из соображений простоты монтажа и устойчивости арки в поперечном направлении. На 1 м штольни укладываются 2 арочные рамы, пяты которых опираются непосредственно на уступ стены крепи. В замке элементы арок соединяются при помощи железобетонного цилиндрического вкладыша. Пространство между аркой и породой затягивается железобетонными затяжками и забучивается породой (рис. 8).

Этот вариант крепи в ходе промышленного испытания выявил ряд конструктивных недостатков, из которых следует отметить: недостаточную устойчивость крепи вдоль оси выработки при монтаже и во время работы под нагрузкой;

нерациональное использование сборного железобетона вследст-

вие того, что большая часть конструкции (0,18 из 0,22 м³ на 1 м выработки) работает не на основную нагрузку, а лишь выполняет функции затяжки, т. е. функции передачи давления на раму и ограждения выработки от выпадения отдельных кусков породы.

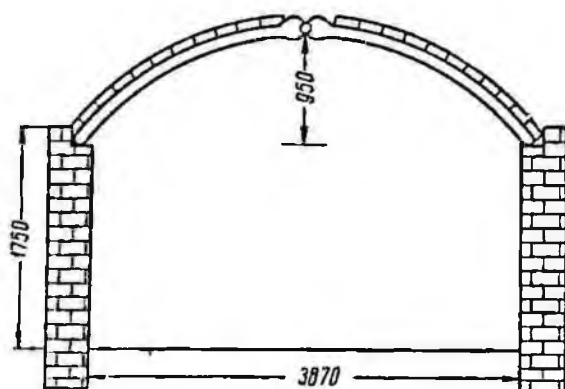


Рис. 8. Смешанная крепь со сборным железобетонным арочным перекрытием

Исходя из этих соображений, автором совместно с доц. Э. И. Цискаришвили и канд. техн. наук И. Д. Джанджгава был запроектирован второй вариант железобетонной крепи. Это сплошная крепь из тонкостенных арочных элементов толщиной 5 см (рис. 9).

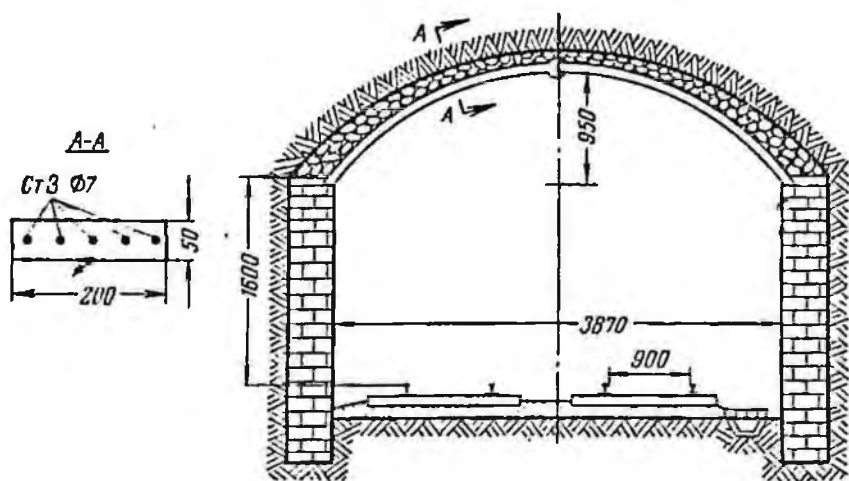


Рис. 9. Смешанная крепь с тонкостенным арочным сборным железобетонным перекрытием

В данной конструкции расход железобетона на перекрытие являлся одинаковым с соответствующим расходом при арочной рамной

крепи с железобетонной затяжкой и составлял $0,22 \text{ м}^3$ на 1 м выработки. Несущая же способность на сжатие при новой конструкции крепи почти в 7 раз больше несущей способности крепи первого варианта.

В новой конструкции сечение криволинейной тонкой плиты имеет вид, показанный на рис. 9. На каждый 1 м выработки максимальный изгибающий момент при этом будет

$$M = m R_n b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right), \quad (9)$$

где R_n — расчетное сопротивление на сжатие при изгибе для бетона марки 300, равное 160 кг/см^2 [17];

b — ширина элемента, для нашего примера равная 100 см ;

x — высота сжатой зоны сечения, равная $0,55 h_0$;

h_0 — рабочая высота сечения, для нашего примера равная $2,5 \text{ см}$.

Подставляя вышеприведенные значения в формулу (9), получим $M = 45\,000 \text{ кг} \cdot \text{см} = 0,45 T \cdot \text{м}$, т. е. почти в пять раз больше, чем при первом варианте.

Промышленное испытание новой крепи на рудниках Чиатуры подтвердило ее высокую несущую способность. В ходе испытаний выявилось, что между отдельными плитами арок остается зазор $2 \div 2,5 \text{ см}$, поэтому нами предлагается увеличить ширину плит до 23 см , т. е. заменить пять пар арок, перекрывающих 1 м выработки, четырьмя парами.

Кроме того, принимая новую арматурную сталь периодического профиля класса А-III [18] с расчетным сопротивлением $m_a R_a = 3400 \text{ кг/см}^2$, определяем нужную площадь на 1 м выработки из условия

$$F_{a_1} R_{a_1} = F_x R_{a_2},$$

где F_{a_1} — площадь сечения арматуры (Ст. 3 $\varnothing 7$), равная $9,5 \text{ см}^2$;

R_{a_1} — расчетное сопротивление (Ст. 3), равное 2100 кг/см^2 ;

R_{a_2} — сопротивление (сталь класса А-III), равное 3400 кг/см^2 .

Подставляя эти значения в формулу, получим

$$F_x = \frac{F_{a_1} R_{a_1}}{R_{a_2}} = 6 \text{ см}^2.$$

Сечение арматуры на одну плиту $F_a = \frac{6}{4} = 1,5 \text{ см}^2$.

Принимаем шесть стержней диаметром 6 мм ($F_a = 1,7 \text{ см}^2$) арматурной стали класса А-III и располагаем в сечении бетона симметрично.

Несущая способность в таком сечении составит

$$R_{сж} = 4 \cdot 0,8 (92 \cdot 130 + 1,7 \cdot 3400 \cdot 1) = 56,8 \text{ т},$$

где

$$M = 4 m R_n b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) = 0,43 \text{ Т} \cdot \text{м},$$

где

$$x = \frac{F_a m_a R_a}{b R_n} = 0,8 \text{ см}.$$

На основе результатов испытаний тонкостенных арок было решено заменить стены бутобетонной кладки тонкостенными железобетонными стойками. В результате замены бутобетонных стен железобетонными стойками была получена экономия.

Полная экономия на 1 м штольни при замене смешанной крепи сборной железобетонной крепью только по материалам составляет более 40 руб., что указывает на целесообразность применения новой конструкции сборной железобетонной крепи.

Тонкостенная арочная гладкая сборная железобетонная крепь ТАГ-I

Для подбора железобетонных стоек к запроектированной нами тонкостенной гладкой арки необходимо произвести статический расчет пятишарнирной распорной системы.

На систему действует вертикальная равномерно распределенная нагрузка q_v и боковая $q_6 = 0,3 q_v$ (рис. 10, а).

Величину нагрузки (для пород с $f=1 \div 2$) определяем, согласно проведенным нами исследованиям, по своду обрушения высотой $h = \frac{2a}{f}$, т. е.

$$q_v = \frac{2}{3} h \gamma = \frac{2 \cdot 2 \cdot 2,1}{3 \cdot 1} \cdot 1,8 = 5 \text{ Т/м}^2;$$

$$q_6 = 0,3 \cdot 5 = 1,5 \text{ Т/м}^2.$$

Кривизна арки построена согласно уравнению строительной механики [19]

$$y = \frac{4f}{l^2} x (l - x),$$

т. е. изгибающие моменты и поперечные силы в арке равняются нулю, при этом высота свода выработки принята равной $f=1 \text{ м}^*$.

Горизонтальный распор от вертикальной нагрузки определим из условия

$$T \cdot f - q_v \frac{a^2}{2} = 0,$$

откуда

$$T = \frac{q_v a^2}{2f} = \frac{5 \cdot 2^2}{2 \cdot 1} = 10 \text{ Т}, \quad (10)$$

* Графически было установлено, что при $f=0,95$ сечение штольни по высоте вписывается в применяемое прямоугольное сечение выработки, закрепленной смешанной крепью с металлическими верхняками. (Прим. авт.).

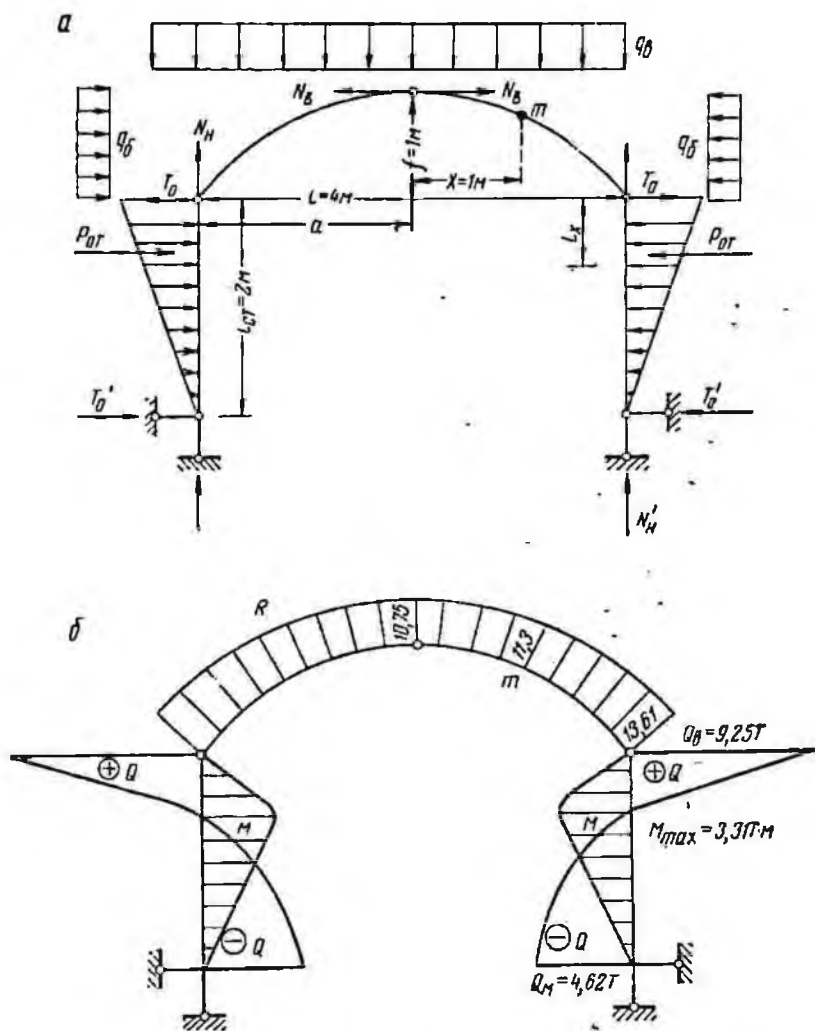


Рис. 10. Расчетная схема (а) и эпюры крепи ТАГ-I (б)

усилие в верхнем шарнире N_v определим по формуле

$$N_v = T + \frac{q_6 f}{2} = 10,75 \text{ Т}, \quad (11)$$

найдем опорные реакции в пятах арки:

$$\text{вертикальная } N_u = q_6 a = 10 \text{ Т}, \quad (12)$$

$$\text{горизонтальная } T_0 = T - \frac{q_6 f}{2} = 9,25 \text{ Т}. \quad (13)$$

Продольные усилия в произвольном сечении получим по формуле

$$R_m = N_v \cos \varphi_x + q_6 x \sin \varphi_x - q_6 y \cos \varphi_x, \quad (14)$$

в нижнем шарнире

$$R_{u, ш} = N_u \sin \varphi_u + T_0 \cos \varphi_u. \quad (15)$$

Продольные усилия определяем в трех точках:

1) в верхнем шарнире при $\varphi_x = 0$; $y = 0$; $x = 0$

$$R_{v, ш} = 10,75 \cos 0^\circ = 10,75 \text{ Т};$$

2) в сечении m при $x = 1$; $y = 0,75$; $\varphi_x = 26^\circ 34'$ (координаты x , y и φ_x определены графически)

$$R_m = 10,75 \cdot 0,894 + 5 \cdot 1 \cdot 0,447 - 1,5 \cdot 0,75 \cdot 0,894 = 11,3 \text{ Т};$$

3) в нижнем шарнире $\varphi_u = 45^\circ$

$$R_{u, ш} = 10 \cdot 0,707 + 9,25 \cdot 0,707 = 13,61 \text{ Т}.$$

Определим усилия прямолинейных боковых элементов (стоек), установленных вертикально (см. рис. 10, а).

Отпор породы определим из условия, что

$$T_0 l_{ст} - P_{от} \frac{2}{3} l_{ст} = 0,$$

$$\text{откуда } P_{от} = \frac{3}{2} T_0 = 13,86 \text{ Т}, \quad (16)$$

наибольшая интенсивность пассивного отпора породы определим по формуле

$$q_{пас} = \frac{2 P_{от}}{l_{ст}} = \frac{2 \cdot 13,86}{2} = 13,86 \text{ Т/м}. \quad (17)$$

Найдем опорные реакции в нижнем шарнире стойки:

вертикальная

$$N'_u = N = 10 \text{ Т}, \quad (18)$$

горизонтальная

$$T'_0 = 0,5 T_0 = 4,62 \text{ Т}. \quad (19)$$

Изгибающий момент в произвольном сечении l_x получим из условия

$$M_x = T_0 l_x - \frac{q_{\text{пас}} l_x^2}{6} \left(3 - \frac{l_x}{l_{\text{ст}}} \right), \quad (20)$$

второй член формулы (20) получен следующим образом:

интенсивность пассивного отпора в сечении l_x можно определить по формуле

$$q_x = q_{\text{пас}} \frac{l_{\text{ст}} - l_x}{l_{\text{ст}}},$$

а величину отпора на участке l_x можно найти из выражения

$$P_{\text{от}(x)} = \frac{q_{\text{пас}} + q_x}{2} l_x,$$

после подстановки значения q_x получим

$$P_{\text{от}(x)} = \frac{q_{\text{пас}} \cdot l_x}{2} \left(2 - \frac{l_x}{l_{\text{ст}}} \right), \quad (21)$$

плечо силы $P_{\text{от}(x)}$ относительно сечения l_x определяется положением центра тяжести трапеции и в данном случае будет равно

$$\frac{l_x}{3} \cdot \frac{2 q_{\text{пас}} + q_x}{q_{\text{пас}} + q_x} = \frac{l_x}{3} \cdot \frac{3 - \frac{l_x}{l_{\text{ст}}}}{2 - \frac{l_x}{l_{\text{ст}}}},$$

а момент силы $P_{\text{от}(x)}$ будет

$$P_{\text{от}(x)} = \frac{l_x}{3} \cdot \frac{3 - \frac{l_x}{l_{\text{ст}}}}{2 - \frac{l_x}{l_{\text{ст}}}} = \frac{q_{\text{пас}} l_x^2}{6} \left(3 - \frac{l_x}{l_{\text{ст}}} \right),$$

что и является вторым членом формулы (20).

Так как в верхнем и нижнем шарнирах стойки изгибающие моменты равняются нулю, для подбора сечения достаточно определить максимальный изгибающий момент на расстоянии l_x , т. е.

$$\frac{d M_x}{d l_x} = T_0 - q_{\text{пас}} l_x + \frac{q_{\text{пас}} \cdot l_x^2}{2 l_{\text{ст}}} = 0;$$

$$q_{\text{пас}} l_x^2 - 2 l_{\text{ст}} q_{\text{пас}} l_x - 2 l_{\text{ст}} T_0 = 0;$$

$$13,86 l_x^2 - 55,44 l_x - 37 = 0 \quad l_x = 0,58 \text{ м},$$

подставляя значение l_x в формулу (20), находим

$$M_{\text{max}} = 9,25 \cdot 0,58 - \frac{13,86 \cdot 0,58^2}{2} \left(3 - \frac{0,58}{2} \right) = 3,31 \text{ Т} \cdot \text{м}.$$

Поперечные усилия в произвольном сечении определяются из условия

$$Q_x = T_0 - \frac{q_{\text{рас}} l_x}{2} \left(2 - \frac{l_x}{l_{\text{ст}}} \right), \quad (22)$$

где второй член — величина отпора $P_{\text{от}(x)}$ [см. формулу (21)].

Поперечная сила в верхнем шарнире стойки

$$Q_{\text{в}} = T_0 - 0 = 9,25 \text{ Т при } M_{\text{max}} = 0 \text{ и } Q_x = 0,$$

в нижнем шарнире

$$Q_{\text{н}} = 9,25 - \frac{13,86 \cdot 2}{2} \left(2 - \frac{2}{2} \right) = -4,62 = -T_0.$$

Продольное усилие

$$R_{\text{ст}} = N = N'_{\text{н}} = 10, \text{ Т.} \quad (23)$$

Определив все усилия в пятишарнирной арочной системе с прямолинейными стойками, строим эпюры изгибающих моментов поперечных и продольных сил (рис. 10, б).

Расчетные усилия для подбора прямолинейных железобетонных стоек нами определены аналогично вышеприведенным статическим расчетам для всех горногеологических условий, встречающихся на пластовых месторождениях Грузии, и сведены в табл. 12.

Т а б л и ц а 12

Расчетные усилия в стойках крепи при ширине выработки 4 м	Условия работы крепи					
	$f=1 \div 2$ или $q_{\text{в}}=5 \text{ Т/м}^2$	$f=2 \div 3$ или $q_{\text{в}}=3,4 \text{ Т/м}^2$	$f=3 \div 4$ или $q_{\text{в}}=2,3 \text{ Т/м}^2$	$f=4 \div 6$ или $q_{\text{в}}=1,75 \text{ Т/м}^2$	$f=6 \div 8$ или $q_{\text{в}}=1,2 \text{ Т/м}^2$	$f=8$ и выше или $q_{\text{в}}=0,8 \text{ Т/м}^2$
$M, \text{ Т/м}$	3,31	2,14	1,5	1,2	0,9	0,45
$Q, \text{ Т}$	9,25	6,21	4,2	3,3	2,1	1,60
$R, \text{ Т}$	10,00	6,72	4,6	3,5	2,3	1,70

При подборе сечения элементов крепи ТАГ-1 пользуемся нормативным СНиП П-В. 1—62 [18], а также существующими работами по конструированию и расчету железобетонных изделий. Подбор сечений производим следующим образом.

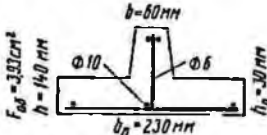
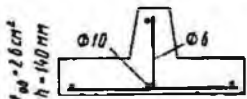
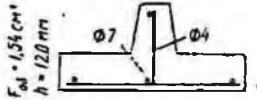
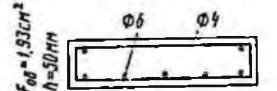
Задаемся сечением таврового очертания шириной полки $l_{\text{п}}=23 \text{ см}$ (см. табл. 13). В расчетном отношении железобетонные стойки могут рассматриваться как внецентренно сжатые элементы с расположением растянутой зоны в полках таврового сечения.

Расчетные данные для первого случая (см. табл. 12), т. е. для пород с $f=1,2$, следующие:

изгибающий момент на одну стойку шириной 23 см

$$M = \frac{3,31}{4} = 0,83 \text{ Т} \cdot \text{м},$$

Таблица 13

№ сечений	Поперечные сечения железобетонной стойки с арматурой из стали класса А-III	Область применения	Расход материалов на стойку				Вес железобетонной стойки, кг
			бетон марки 300, м³	арматурная сталь, кг			
				продольная	поперечная	общий расход	
1	 $F_{сб}=351\text{ см}^2$ $h=140\text{ мм}$ $b=80\text{ мм}$ $b_n=230\text{ мм}$ $h_n=30\text{ мм}$	$f=1\div 2$ или $q_v=5\text{ Т/м}^2$	0,036	6,17	2,10	8,27	90,0
2	 $F_{сб}=26\text{ см}^2$ $h=140\text{ мм}$ $b=80\text{ мм}$ $b_n=230\text{ мм}$ $h_n=30\text{ мм}$	$f=2\div 3$ или $q_v=3,4\text{ Т/м}^2$	0,036	4,10	2,10	6,20	90,0
3	 $F_{сб}=201\text{ см}^2$ $h=120\text{ мм}$ $b=80\text{ мм}$ $b_n=230\text{ мм}$ $h_n=30\text{ мм}$	$f=3\div 4$ или $q_v=2,3\text{ Т/м}^2$	0,033	3,20	1,16	4,36	82,5
4	 $F_{сб}=154\text{ см}^2$ $h=120\text{ мм}$ $b=80\text{ мм}$ $b_n=230\text{ мм}$ $h_n=30\text{ мм}$	$f=4\div 6$ или $q_v=1,75\text{ Т/м}^2$	0,033	2,42	0,96	3,38	82,5
5	 $F_{сб}=154\text{ см}^2$ $h=100\text{ мм}$ $b=80\text{ мм}$ $b_n=230\text{ мм}$ $h_n=30\text{ мм}$	$f=6\div 8$ или $q_v=1,2\text{ Т/м}^2$	0,030	2,42	0,80	3,22	75,5
6	 $F_{сб}=193\text{ см}^2$ $h=50\text{ мм}$ $b=80\text{ мм}$	$f=8$ или $q_v=0,8\text{ Т/м}^2$	0,023	3,10	0,90	4,00	57,5

$$\text{поперечная сила } Q = \frac{9,25}{4} = 2,31 \text{ Т},$$

$$\text{продольная сила } R = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ Т}.$$

Сжатую зону бетона, которая находится в стенке сечения, конструктивно армируем двумя стержнями периодического профиля диаметром 10 мм ($F_a' = 1,57 \text{ см}^2$) из стали класса А-III ($M_a R_a = 3400 \text{ кг/см}^2$) согласно СНиПу [18]. Принимаем бетон марки 300 с расчетным сопротивлением $R_n = 160 \text{ кг/см}^2$; длина железобетонной стойки $l_0 = 200 \text{ см}$.

Расчет ведем для определения арматуры растянутой зоны
 $a = a' = 1,5 \text{ см}$; $h_0 = h - 1,5 = 12,5 \text{ см}$,

так как

$$\frac{l_0}{h} = \frac{200}{14} = 14,3 > 35 \nu = 10,5; \quad (24)$$

определение коэффициента η , учитывающего гибкость стойки, необходимо. В формуле (24) $\nu = 0,3$ находится по табл. 143 из работы [20] при $\frac{h_n}{h} = \frac{3}{14} = 0,214$ и $\frac{b_n}{b} = \frac{23}{6} = 4$. Для определения η вычисляем n_τ по формуле

$$n_\tau = \frac{R_p}{m h b R_n} = \frac{2500 \cdot 0,57}{1 \cdot 6 \cdot 14 \cdot 160} = 0,13, \quad (25)$$

в формуле (25) $q = 0,57$ находится по табл. 144 [20] при $n_\tau = 0,13$ и $\frac{l_0}{h} = 14,3$ по графику 1,45 [21] находим $\eta = 1,07$.

Положение центра тяжести сечения элементов определяем графически:

$$\text{при } \nu = \frac{b}{b_n} = \frac{6}{23} = 0,25 \text{ и } c = \frac{h_n}{h} = 0,214$$

из графика 1,103 работы [20] находим $Q = 0,65$, после чего вычисляем

$$y = Q h = 0,65 \cdot 14 = 9,1 \text{ см}. \quad (26)$$

Эксцентриситет приложения нормальной силы найдем по формуле

$$e = \eta \cdot e_0 + y - a = 1,07 \cdot \frac{83}{2,5} + 9,1 - 1,5 = 43 \text{ см}, \quad (27)$$

так как

$$e_0 = \frac{M}{R} = \frac{83}{2,5} > 0,3 h = 3,75 \text{ см},$$

площадь сечения растянутой арматуры F_a определяем по формуле [20]

$$F_a = \frac{M_1}{m \gamma_0 h_0 m_a R_a} + F'_a - \frac{R}{m m_a R_a}, \quad (28)$$

где M_1 определяем по формуле

$$M_1 = Re - M'_a = Re - m F'_a m_a R_a (h_0 - \alpha') = 47\,660 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Для определения γ_0 вычисляем

$$A_0 = \frac{M_1}{m b h_0^2 R_n} = 0,33.$$

По табл. 1,34 работы [20] для $A_0 = 0,33$ находим $\gamma_0 = 0,79$.

Подставляя найденное значение в формулу (28), получим

$$F_a = \frac{47\,660}{1 \cdot 0,79 \cdot 12,5 \cdot 3400} + 1,57 - \frac{2500}{1 \cdot 3400} = 2,2 \text{ см}^2.$$

Принимаем три стержня диаметром 10 мм периодического профиля из стали класса А-III [18] сечением $F_a = 2,36 \text{ см}^2$.

Для подбора поперечной арматуры проверяем условие

$$m R_p b h_0 \geq Q, \quad (29)$$

где $m = 1,1$ — коэффициент условия работы бетона, при растяжении принимается по СНиПу [18];

R_p — расчетное сопротивление бетона марки 300 на растяжение, равное 9,5.

Подставляя значение R_p в формулу (29), получим

$$1,1 \cdot 9,5 \cdot 6 \cdot 12,5 = 787 < 2310 \text{ кг}.$$

Поскольку не соблюдается условие (29), поперечную арматуру в стойках определим расчетным путем.

Нагрузку q_x , которую воспринимают хомуты (поперечная арматура) на единицу длины стойки, определяем [20] по формуле

$$q_x = \frac{\left(\frac{Q}{M}\right)^2}{0,6 b h^2 R_n} = 60 \text{ кг/см}. \quad (30)$$

Расстояние между хомутами найдем по формуле

$$u = \frac{m \cdot 0,1 \cdot R_n b h_0^2}{Q} = 7,3 \text{ см}. \quad (31)$$

Принимаем шаг поперечных стержней $a_x = 7 \text{ см}$.

Площадь сечения стержней поперечной арматуры определяем по формуле

$$f_a = \frac{q_x a_x}{m_n m_a R_a n} = 0,21 \text{ см}^2. \quad (32)$$

Принимаем поперечные стержни диаметром 6 мм с сечением $f_a = 0,283 \text{ см}^2$.

Согласно проведенному расчету подбираем тавровое сечение (табл. 13, сечение 1), продольной арматурой $F_{об} = 3,93 \text{ см}^2$.

Нами подобраны также поперечные сечения прямолинейных стоек и для остальных случаев, указанных в табл. 13. Подобраные сечения с основными техническими показателями приводятся в табл. 13.

Как видно из табл. 13, расход материалов на прямолинейную железобетонную стойку таврового сечения достигает значительных величин, что обусловлено действующими на них большими изгибающими моментами и поперечными силами. Кроме указанного, тавровое сечение является сложным, трудоемким и нетехнологичным в изготовлении, затрудняющим забутовку закрепного пространства (особенно при сплошной крепи), а также характеризуется существенным недостатком сечений открытого типа, низкой сопротивляемостью толчкам и ударам.

В силу вышеизложенного прямолинейные стойки с тавровым сечением не являются рациональными для тонкостенного арочного гладкого железобетонного перекрытия.

Тонкостенная арочная гладкая сборная железобетонная крепь ТАГ-П

С целью уменьшения действующих изгибающих моментов и поперечных сил и, следовательно, для подбора более простого поперечного сечения железобетонных стоек принимаем криволинейные боковые элементы и производим статический расчет новой системы ТАГ-II.

Схема нагрузки, действующей на систему крепи, показана на рис. 11, а. Величины нагрузок приняты те же, что при расчете крепи ТАГ-I для пород с $f=1\div 2$, т. е. $q_s=5 \text{ Т/м}^2$; $q_6=1,5 \text{ Т/м}^2$.

Поскольку расчет арочной части не изменяется, перейдем сразу к расчету боковых криволинейных элементов.

Боковой элемент нагружен силами $N_n=10 \text{ т}$, $T_0=9,25 \text{ т}$, пассивный отпор $P_{от}=3/2 \cdot T_0=13,86 \text{ т}$ и наибольшая интенсивность пассивного отпора породы $q_{пас}=13,86 \text{ т/м}$ [см. формулы (12, 13, 16 и 17)].

Опорные реакции в нижнем шарнире бокового элемента определяются как для прямолинейной стойки, т. е.

вертикальная реакция $N'=N=10 \text{ т}$;

горизонтальная реакция $T'_0=T_0=4,62 \text{ т}$.

Размеры бокового элемента определены параметрами $r=2,4 \text{ м}$ и $\varphi=50^\circ$ (см. рис. 11).

Изгибающие моменты в произвольном сечении определяются из условий:

$$M_x = T_0 y - N_n x - \frac{q_{пас} y^2}{6} \left(3 - \frac{y}{l_{ст}} \right), \quad (33)$$

где

$$y = 2r \sin \frac{\varphi_x}{2} \cos \left(25^\circ - \frac{\varphi_x}{2} \right), \quad (34)$$

$$x = 2r \sin \frac{\varphi_x}{2} \sin \left(25^\circ - \frac{\varphi_x}{2} \right), \quad (35)$$

φ_x определяется графически для каждого сечения.

В целях правильного определения поперечных и продольных усилий в произвольном сечении бокового элемента, строим схему действия нагрузок (рис. 12).

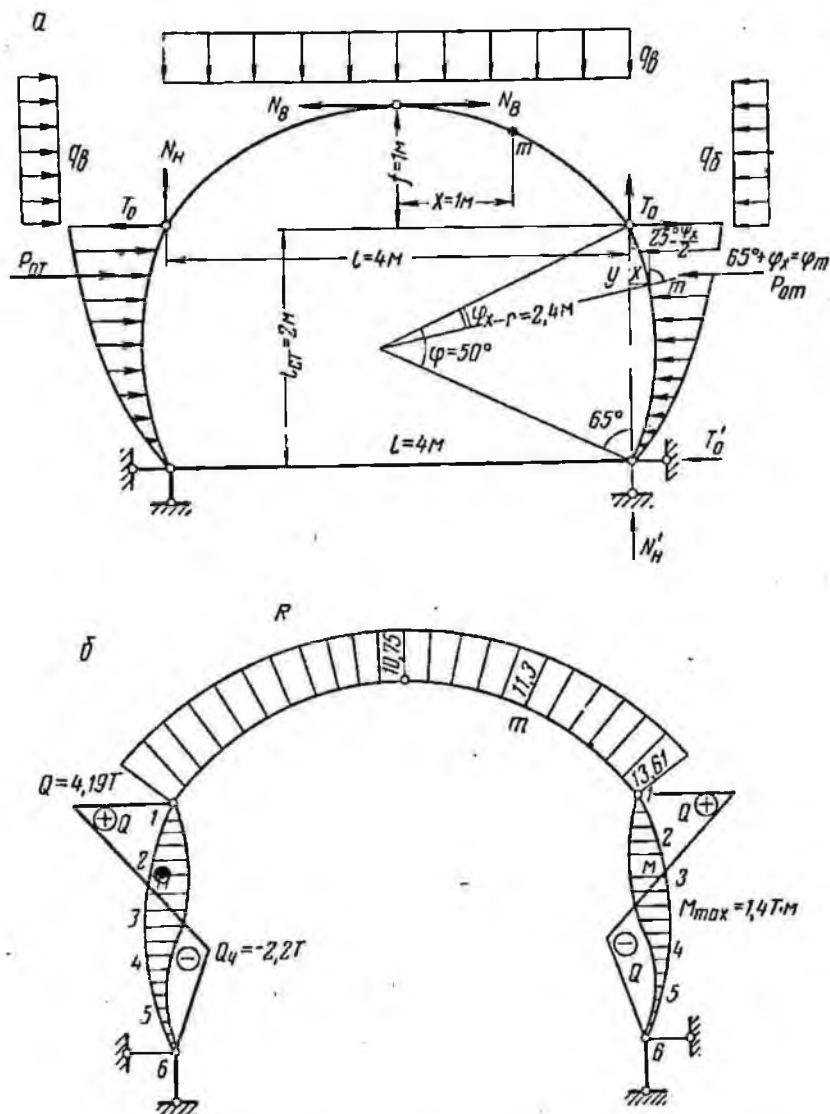


Рис. 11. Расчетная схема (а) и эпюры крепи ТАГ-II (б)

Поперечные силы в произвольном сечении определяются из условий (см. рис. 11 и 12).

$$Q_x = T_0 \sin \varphi_x - N_H \cos \varphi_m - P_{от(x)} \sin \varphi_m, \quad (36)$$

где

$$\varphi_{\text{н}} = 65^\circ + \varphi_x.$$

$$P_{\text{от}(x)} = \frac{q_{\text{пас}} + q_x}{2} y = \frac{q_{\text{пас}} + \left(q_{\text{пас}} \frac{l_{\text{ст}} y}{l_{\text{ст}}} \right)}{2} y = \frac{q_{\text{пас}} y}{2} \left(2 - \frac{y}{l_{\text{ст}}} \right), \quad (37)$$

y определяется по формуле (34).

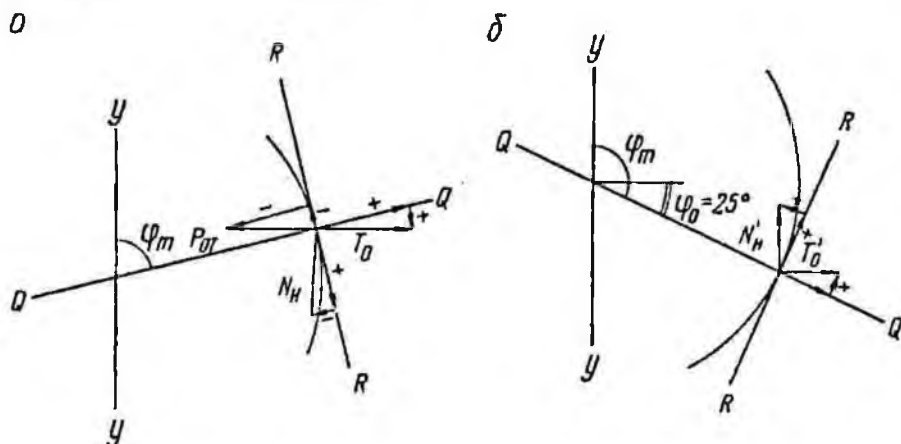


Рис. 12. Схемы действия нагрузок на стойку крени ТАГ-II:

а — в верхнем шарнире; б — в нижнем шарнире

Продольные силы в произвольном сечении определяются из условия:

$$R_x = N_{\text{н}} \sin \varphi_m + T_0 \cos \varphi_m - P_{\text{от}(x)} \cos \varphi_m, \quad (38)$$

в формуле (38) $P_{\text{от}(x)}$ определяется по формуле (37).

Расчет бокового элемента производим следующим образом:

элемент делим на шесть расчетных сечений и определяем для каждого сечения параметры φ_x , φ_m , x и y , после чего по формулам (33, 36, 38) вычисляем изгибающие моменты, продольные и поперечные силы. Результаты расчетов сведены в табл. 14.

Таблица 14

№ сечений	φ_x , град	φ_m , град	x , м	y , м	M_x , Т·м	Q_x , Т	R_x , Т
1	0	65	0	0	0	4,19	13,00
2	10	75	0,14	0,39	1,28	1,57	10,80
3	20	85	0,22	0,79	1,40	-0,84	10,24
4	30	95	0,22	1,22	0,80	-2,20	10,20
5	40	105	0,14	1,60	0,40	-1,30	10,70
6	50	115	0	2,00	0	0,04	11,05

Произведенные нами расчеты проверяем по формулам:

$$Q_{\text{н.ш}} = N'_{\text{н}} \sin \varphi_0 - T'_0 \cos \varphi_0 = 0,03 \text{ Т.} \quad (39)$$

$$R_{\text{н.ш}} = N'_{\text{н}} \cos \varphi_0 + T'_0 \sin \varphi_0 = 11 \text{ Т,} \quad (40)$$

что вполне подтверждает точность расчетов. Формулы (39 и 40) получены из схемы действия опорных реакций на нижнем шарнире бокового элемента (см. рис. 12, б).

Определив все усилия в пятишарнирной арочной системе с криволинейными боковыми элементами, строим эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил (см. рис. 11, б). Как видно из эпюр, расчетные усилия для подбора сечения бокового элемента, в породах с $f=1\div 2$ равняются $M_{\max}=1,4 \text{ Т} \cdot \text{м}$, $Q_{\max}=4,19 \text{ Т}$ и расчетный R при $M_{\max} R=10,24 \text{ Т}$ (см. табл. 14).

Аналогично вышеприведенному расчету нами определены расчетные усилия для остальных горногеологических условий. Величины расчетных усилий для подбора сечения боковых элементов сведены в табл. 15.

Т а б л и ц а 15

Расчетные усилия в стойках крепи ТАГ-II при ширине выработки, 4 м	Условия работы крепи, (f —коэффициент крепости пород)			
	$f=1\div 2$ или $q_B=5 \text{ Т/м}^2$	$f=2\div 3$ или $q_B=3,4 \text{ Т/м}^2$	$f=3\div 4$ или $q_B=2,3 \text{ Т/м}^2$	$f=4$ и выше или $q_B=1,75 \text{ Т/м}^2$
$M, \text{ Т} \cdot \text{м}$	1,40	0,92	0,62	0,31
$Q, \text{ Т}$	4,19	2,81	2,0	1,0
$R, \text{ Т}$	10,24	6,68	4,8	2,8

Так как изгибающие моменты и поперечные силы уменьшились до минимума в породах с $f=4$, продолжать расчеты мы сочли нецелесообразным.

Как видно из табл. 15, применение криволинейного бокового элемента уменьшает изгибающие моменты и поперечные силы в 2,5—3 раза.

Пользуясь работами [16], [18] и [20], подбор поперечных сечений элементов крепи ТАГ-II производим следующим образом:

задаемся сечением прямоугольного очертания шириной $b=23 \text{ см}$ и высотой $h=7 \text{ см}$ (см. табл. 16, сечение 1). В расчетном отношении железобетонную стойку прямоугольного сечения рассматриваем как внецентренно сжатый элемент.

Для пород с $f=1\div 2$ расчетные данные (см. табл. 15) следующие:

$$\text{изгибающий момент на стойку } M = \frac{1,4}{4} = 0,35 \text{ Т} \cdot \text{м};$$

$$\text{поперечная сила } Q = \frac{4,19}{4} = 1,05 \text{ Т}, \text{ продольная } R = \frac{10,24}{7} = 2,56 \text{ Т}.$$

Сжатую зону бетона конструктивно армируем двумя стержнями периодического профиля диаметром 8 мм ($F_a=1,01$) из стали класса А-III ($m_a R_a=3400 \text{ кг/см}^2$) согласно СНиПу [18]. Принимаем бетон марки 300— $R_n=160 \text{ кг/см}^2$; длину стойки $l_0=200 \text{ см}$.

Расчет ведем для определения растянутой арматуры $a=a'=1,4$ см; $h_0=h-1,4=7-1,4=5,6$ см,

так как $\frac{l_0}{h} = \frac{200}{7} = 28,6$, т. е. $\frac{l_0}{h} > 10$ необходимо учитывать гибкость. Коэффициент гибкости η определяем [20] по формуле

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{R}{m \cdot 400 R_n F \left(\frac{l_0}{R} \right)^2}} = 1,25. \quad (41)$$

Эксцентриситет приложения нормальной силы определяем по формуле

$$e = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a = 19 \text{ см}, \quad (42)$$

так как

$$e = \frac{M}{R} = \frac{35}{2,56} = 13,6 \text{ см} > 0,3 h_0,$$

пользуемся формулой

$$M_1 = Re - M'_a = R \cdot e - m F'_a m_a R_a (h_0 - a') = 34\,212, \text{ кг} \cdot \text{см},$$

проверяем неравенство

$$M_1 = 34\,212 \leq m \cdot 2a' (h_0 - a') b R_n = 44\,160, \text{ кг} \cdot \text{см} \quad (43)$$

так как неравенство (43) соблюдается, площадь сечения растянутой арматуры определяем по формуле

$$F_a = \frac{R}{m m_a R_a} \left(\frac{e}{h_0 - a} - 1 \right) = \frac{2560}{1 \cdot 3400} \left(\frac{19}{4,2} - 1 \right) = 2,4 \text{ см}^2 \quad (44)$$

Заметим, что при соблюдении неравенства

$$R \cdot e < 2m a' (h_0 - a') b R_n \quad (45)$$

арматура сжатой зоны не учитывается и растянутая арматура определяется по формулам:

$$x_0 = h_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R \cdot e}{m b_0 h_0^2 R_n}} \right), \quad (46)$$

$$F_a = \frac{m b x_0 R_n - R}{m m_a R_a}, \quad (47)$$

где x_0 — высота сечения сжатой зоны бетона.

Принимаем пять стержней диаметром 8 мм периодического профиля из стали класса А-III [18] сечением $F_a = 2,51 \text{ см}^2$.

Для подбора поперечной арматуры проверяем условие

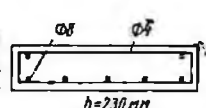
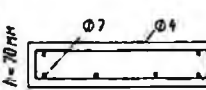
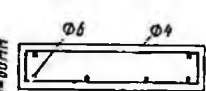
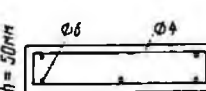
$$1357 = m R_p b h_0 \geq Q = 1050, \text{ кг}.$$

Так как условие соблюдается, поперечную арматуру принимаем конструктивно из проволоки диаметром 4 мм; расстояние между поперечными стержнями определяется из условия

$$20d = 20 \cdot 0,8 = 16, \text{ см.}$$

Аналогичным путем нами определены поперечные сечения стоек и для остальных трех случаев табл. 15. Сечения железобетонных криволинейных стоек с их основными техническими показателями приведены в табл. 16.

Таблица 16

№ сечений	Поперечные сечения железобетонной стойки с арматурой из стали класса А-III	Область применения	Расход материала на стойку				Вес желе- зобетонной стойки, кг
			бетон марки 300, м³	арматурная сталь кг			
				про- дольная	попе- речная	общий расход	
1	 $F_{сб}=33 \text{ см}^2$ $h=70 \text{ мм}$ $b=230 \text{ мм}$	$f=1 \div 2$ или $q_v=5 \text{ Т/м}^2$	0,034	5,5	0,6	6,1	85
2	 $F_{сб}=23 \text{ см}^2$ $h=70 \text{ мм}$ $b=230 \text{ мм}$	$f=2 \div 3$ или $q_v=3,4 \text{ Т/м}^2$	0,034	3,6	0,7	4,3	85
3	 $F_{сб}=17 \text{ см}^2$ $h=60 \text{ мм}$ $b=230 \text{ мм}$	$f=3 \div 4$ или $q_v=2,3 \text{ Т/м}^2$	0,029	2,66	0,9	3,56	72,5
4	 $F_{сб}=12 \text{ см}^2$ $h=50 \text{ мм}$ $b=230 \text{ мм}$	$f=4$ или $q_v=1,75 \text{ Т/м}^2$	0,024	2,22	0,9	3,12	60

Сравнивая данные табл. 13 и 16, видим, как значительно сократились расходы материалов на одну стойку. Кроме того, прямоугольное сечение просто и технологично в изготовлении, характеризуется высокой сопротивляемостью толчкам и ударам, при возведении стоек с прямоугольным сечением всплошную упрощается забутовка закрепного пространства.

Надо отметить, что размеры подобранных нами сечений (см. табл. 16) минимальные (особенно для пород с $f=4$ и выше) и их замена более экономичным сечением конструктивно невозможна.

Предлагаемые нами конструкции ТАГ-I и ТАГ-II предназначены для крепления горизонтальных выработок, проводимых вне зоны влияния очистных работ.

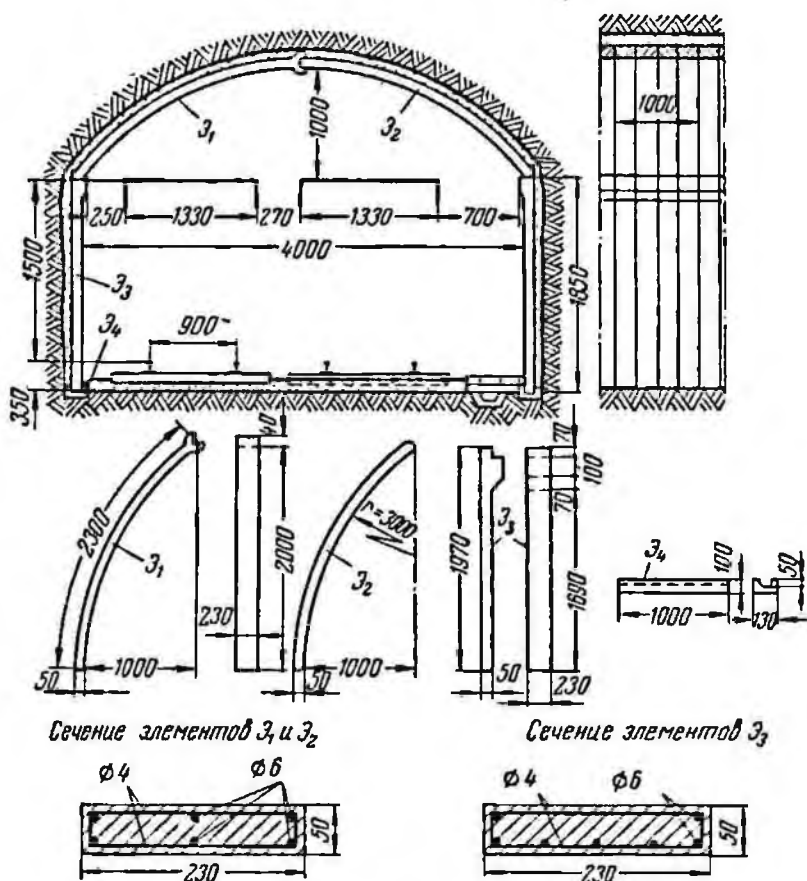


Рис. 13. Тонкостенная арочная гладкая сборная железобетонная крепь ТАГ-I

Тонкостенная арочная гладкая железобетонная крепь с прямолинейными стойками ТАГ-1 (рис. 13) сконструирована и может быть применена в двухпутевых выработках сечением в проходке $11,3 \text{ м}^2$, а в свету 10 м^2 , число элементов крепи на 1 м выработки — 18; максимальный вес элемента $67,5 \text{ кг}$. Расход бетона на 1 м выработки $0,43 \text{ м}^3$, а арматуры $64,6 \text{ кг}$. Крепь ТАГ-I устанавливают в породах с $f=6 \div 8$.

Таблица к рис. 14

Вид выработки	Площадь сечения, м ²		Основные размеры в свету, мм		Наименование элементов крепи ТАГ-II			Число прокаток на 1 м выработки	Число элементов на 1 м выработки	Расход материала на 1 м выработки	
	в свету	в проходке	B	H	Э ₁	Э ₂	Э ₃			бетон, м ³	арматура, кг

Откатка аккумуляторными электровозами

Однопутевая выработка для однопутных вагонов	4,8	5,9	2240	2080	—	ТАГ-2,3	ТАГ-2,08	4	14	0,32	42,5
	5,1	6,2	2400	2120	—	ТАГ-2,5	ТАГ-2,08	4	14	0,34	45,1

Откатка аккумуляторными и контактными электровозами

Двухпутевая выработка для однопутных вагонов	7,8	9,1	3400	2470	ТАГ-1,89	ТАГ-1,85	ТАГ-2,08	4	18	0,41	52,9
	10,5	11,8	4000	2800	ТАГ-2,34	ТАГ-2,3	ТАГ-2,08	4	18	0,43	59,3

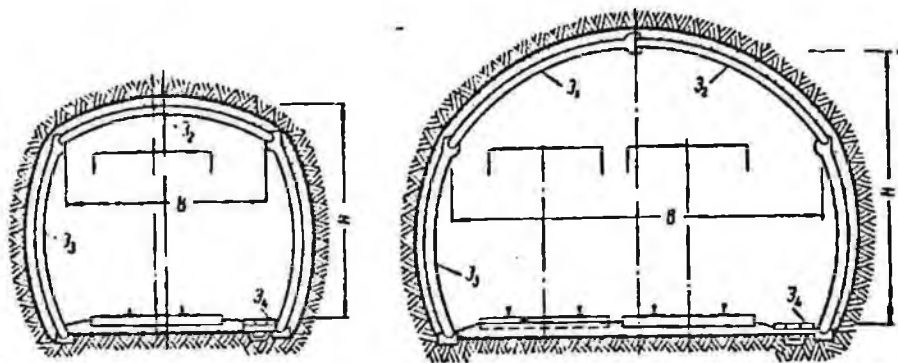


Рис. 14. Тонкостенная арочная гладкая сборная железобетонная крепь ТАГ-II

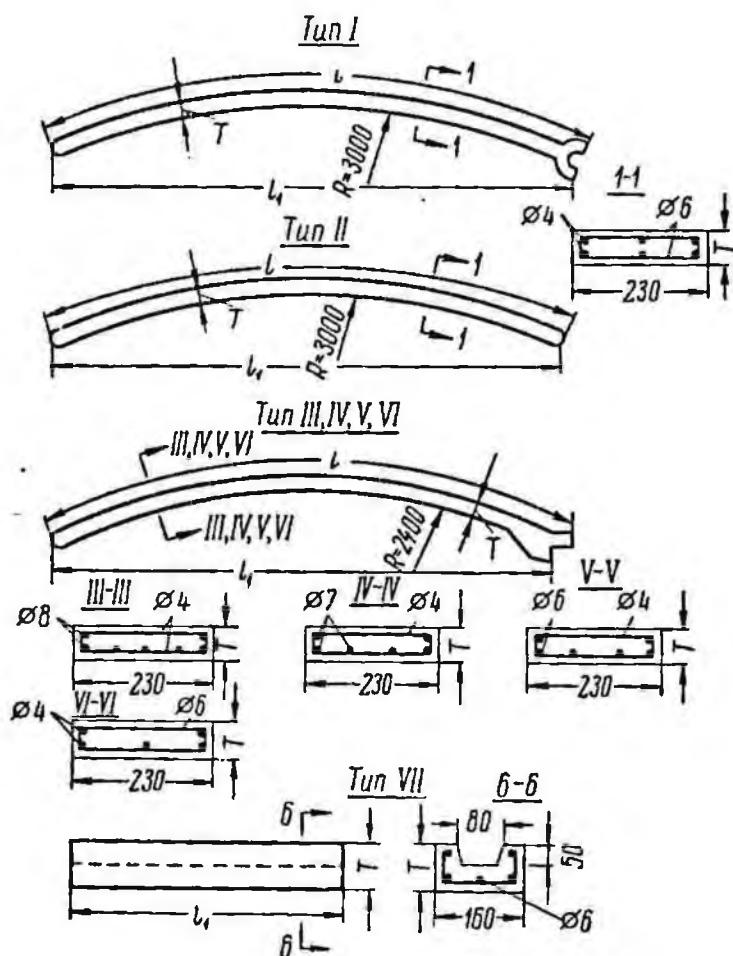


Рис. 15. Типоразмеры и основные показатели элементов крепи ТАГ-II

Таблица к рис. 15

Наименование элементов	Тип	Размеры, мм			Расход материалов		Вес, кг	Область применения
		I	I ₁	T	бетон, м ³	сталь, кг		
Арки								
ТАГ-1.34	I	1340	1260	50	0,016	2,4	40,5	В породах с коэффициентом крепости $f=1$ и выше
ТАГ-1.89	I	1890	1810	50	0,025	3,4	62,5	
ТАГ-2.34	I	2340	2280	50	0,027	4,2	67,5	
ТАГ-1.3	II	1300	1220	50	0,015	2,3	37,5	
ТАГ-1.85	II	1850	1770	50	0,024	3,3	60	
ТАГ-2.3	II	2300	2240	50	0,026	4,1	65	
ТАГ-2.5	II	2500	2400	50	0,027	4,3	68	
Стойки								
ТАГ-2.08	III	2080	1930	70	0,034	6,1	85	$f=1 \div 2$
ТАГ-2.08	IV	2080	1930	70	0,034	4,3	85	$f=2 \div 3$
ТАГ-2.08	V	2080	1930	60	0,03	3,6	73	$f=3$
ТАГ-2.08	VI	2080	1930	50	0,024	3,2	60	$f=4$
Фундаментные плиты ТАГ-1.0	VII	—	1000	100	0,012	1,5	30	$f=1$ и выше

Тонкостенная арочная гладкая сборная железобетонная крепь с криволинейными стойками ТАГ-II (рис. 14) разработана для крепления горизонтальных выработок, проводимых в основном по породам с $f=3$ и более при отсутствии геологических нарушений и пучащих пород. Разработано несколько типоразмеров крепи ТАГ-II для сложных горногеологических условий для пород с $f=1 \div 2$ (рис. 15).

Элементы крепи ТАГ-II представляют собой тонкостенную железобетонную конструкцию прямоугольного сечения шириной 230 мм и высотой 50—70 мм. Арочная часть состоит из двух полуарок: одна из них имеет на одном конце развилку (лапу) для стыкования в замке, а другая полуарка имеет выпуклую поверхность. На одном конце криволинейных стоек имеются консоли сплошного

прямоугольного сечения, на которые опирается трехшарнирная арка выпуклыми цилиндрическими поверхностями.

Всего разработано одиннадцать типоразмеров элементов крепи ТАГ-II, в том числе 7 типоразмеров полуарок и 4 типоразмера стоек, подбором которых крепят все однопутевые и двухпутевые выработки с площадью поперечного сечения в свету от 4,8 до 10,5 м².

Конструкция крепи ТАГ-II однопутевых выработок с пролетом до 2,4 м состоит из двух криволинейных стоек и одного криволинейного верхняка, а всех однопутевых и двухпутевых выработок с пролетом более 2,4 м состоит из двух криволинейных стоек и двух полуарок свода.

Установка крепи в выработках предусмотрена вплотную на железобетонные фундаментные плиты.

Производство элементов крепи ТАГ-II может быть организовано на заводах железобетонных изделий и шахтных полигонах, оборудованных пропарочными камерами, вибростолами, подъемно-транспортными средствами и станками для изготовления арматурных каркасов. Термообработка изделий или выдерживание их до распалубочной прочности производится в формах.

В преимуществах крепи системы ТАГ-II перед крепью АГК (являющейся самой рациональной конструкцией среди рассмотренных нами выше железобетонных крепей) легко убедиться путем сравнения их технико-экономических показателей, сведенных в табл. 17.

Таблица 17

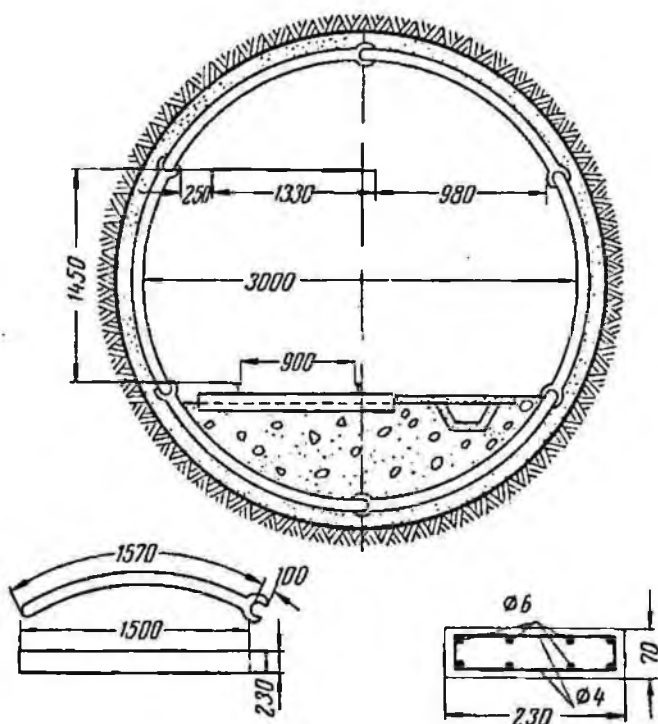
Крепь	Тип выработки	Сечение выработки, м ²			Коэффициент крепи пород, f	Вес верхняка—основ- ного несущего элемента, кг	Число элементов на 1 м выработки	Число типоразмеров	Расход материалов на 1 м выработки	
		в проходке	в свету	$S_{св}/S_{пр}$					бетон, м ³	армату- ра, кг
АГК	Однопутевая	6,9	5,6	1,23	3	65,0	17	12	0,473	77,6
ТАГ-II	Двухпутевая	11,9	10,2	1,16	3	95,0	17		0,595	85,6
	Однопутевая	6,2	5,1	1,21	3	65,0	14		0,340	52,9
	Двухпутевая	11,8	10,5	1,12	3	67,5	18	11	0,430	59,3

Из этих данных видно, что более высокими показателями характеризуется крепь ТАГ-II, что в основном заключается в значительно меньшем расходе материалов.

Кроме того, пятишарнирная система крепи ТАГ-II является более устойчивой, чем шестишарнирная система крепи АГК.

Гладкая тонкостенная кольцевая сборная железобетонная крепь ГТК

На шахтах и рудниках Грузии редко, но все же встречаются горные выработки, находящиеся в сложных горногеологических условиях. Применяемые в этих выработках виды крепи, воспринимающие всестороннее горное давление, часто деформируются и выходят из строя. Следовательно, создание рациональной крепи для таких частных случаев, безусловно, необходимо.



Выработка	Область применения	Сечение, м²		Число элементов на 1 м выработки	Вес элемента, кг	Расход материалов на 1 м выработки	
		в проходке	в свету			бетон, м³	арматура, кг
Однопутевая	$f=0,8\div 1$	7,7	6,1	24	65	0,63	86,4

Рис. 16. Гладкая тонкостенная кольцевая железобетонная крепь ГТК

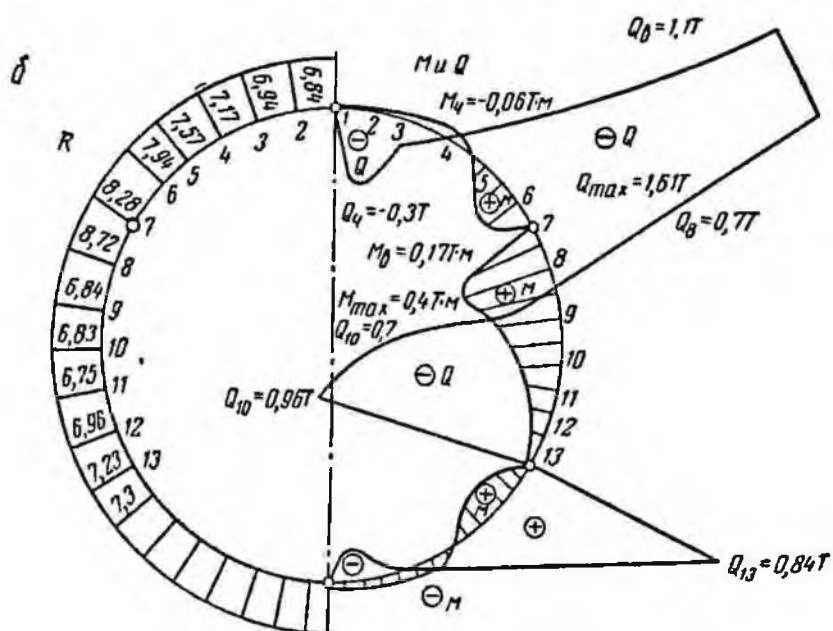
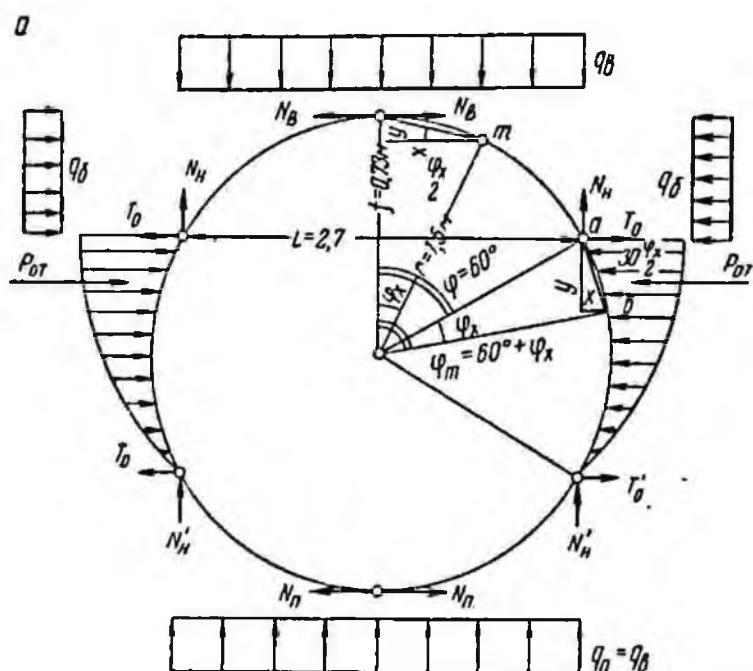


Рис. 17. Расчетная схема и эпюры крeпи ГГК

Основываясь на устойчивости трехшарнирного перекрытия в арочных креплениях, принимаем для сложных горногеологических условий замкнутую — кольцевую шестишарнирную систему (рис. 16) и для подбора сечений элементов крепи производим статический расчет. При расчете пользуемся существующими работами по строительной механике.

На систему шестишарнирной кольцевой крепи ГТК действует сверху и снизу равномерно распределенные и по интенсивности одинаковые нагрузки $q_v = q_n$, вызванные породами с $f = 0,8 \div 1$, а на высоту верхних элементов боковая равномерно распределенная нагрузка $q_6 = 0,3 q_v$ (рис. 17).

Величину нагрузки принимаем соответственно к условиям Грузии, т. е. для пород с $f = 0,8 \div 1$, $q_v = q_n = 5 \text{ Т/м}^2$, а $q_6 = 0,3 \cdot 5 = 1,5 \text{ Т/м}^2$.

Усилия в верхних элементах определяем как в трехшарнирной арке (формы 10, 11, 12 и 13). Размеры верхнего элемента определены параметрами $r = 1,5 \text{ м}$; $\varphi = 60^\circ$.

$$\text{Распор } T = \frac{5 \cdot 7,29}{8 \cdot 0,73} = 6,3 \text{ Т.}$$

Опорные реакции:

$$\text{горизонтальная } T_0 = T - \frac{q_6 f}{2} = 6,3 - 0,54 = 5,76 \text{ Т.}$$

$$\text{вертикальная } N_n = \frac{q_v l}{2} = \frac{5 \cdot 2,7}{2} = 6,75 \text{ Т,}$$

усилие в верхнем шарнире $N_v = 6,3 + 0,54 = 6,84 \text{ Т.}$

Изгибающие моменты в произвольном сечении находим по формуле

$$M_x = N_v y - \frac{q_v x^2}{2} - \frac{q_6 y^2}{2}. \quad (48)$$

Для данного случая x и y определим по формулам:

$$x = 2r \sin \frac{\varphi_x}{2} \cos \frac{\varphi_x}{2}, \quad (49)$$

$$y = 2r \sin \frac{\varphi_x}{2} \sin \frac{\varphi_x}{2}, \quad (50)$$

где φ_x — определяется графически (см. рис. 17, а) для каждого случая.

Для определения поперечных и продольных усилий в произвольном сечении верхнего элемента строим схему действия нагрузок (рис. 18).

Поперечные силы в произвольном сечении находим из условия

$$Q_x = N_v \sin \varphi_x - q_v x \cos \varphi_x - q_6 y \sin \varphi_x. \quad (51)$$

Продольные усилия в произвольном сечении находим из условия

$$R_x = N_n \cos \varphi_x + q_n x \sin \varphi_x - q_0 y \cos \varphi_x. \quad (52)$$

Размеры бокового элемента определены параметрами $r=1,5$; $\varphi=60^\circ$. Элемент нагружен силами $N_n=6,75$ Т, $T_0=5,76$ Т и пассивным отпором $P_{от} = \frac{3}{2} \cdot T_0 = 8,64$ Т.

Наибольшую интенсивность пассивного отпора породы определим по формуле

$$q_{пасс} = \frac{2 P_{от}}{l_{ст}} = \frac{2 \cdot 8,64}{1,5} = 11,5 \text{ Т/м}.$$

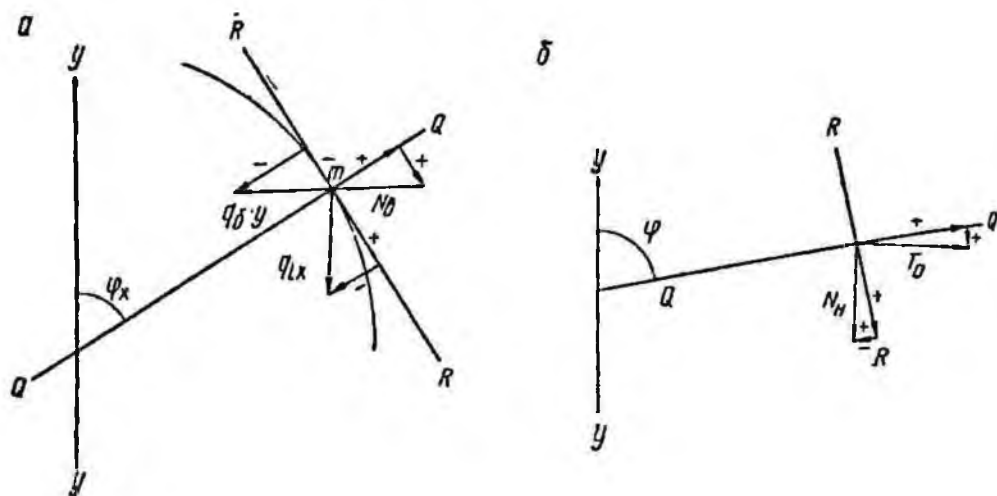


Рис. 18. Схемы действия нагрузок на верхний элемент крепи ГТК: а — для поперечных усилий; б — для продольных усилий

Опорные реакции в нижнем шарнире бокового элемента:
вертикальная $N' = N_n = 6,75$ Т;
горизонтальная $T'_0 = 0,5 \cdot T_0 = 2,88$ Т.

Для определения усилия в боковом элементе координатную систему располагаем так, чтобы ось x -ов проходила на верхнем шарнире бокового элемента, причем положительное направление считается влево, а ось y -ов соединяла верхний и нижний шарниры бокового элемента, причем положительное направление принято вниз.

Изгибающие моменты в произвольном сечении определяются по формуле (33).

Для данного случая x и y определим по формулам:

$$x = 2r \sin \frac{\varphi_x}{2} \sin \left(30^\circ - \frac{\varphi_x}{2} \right), \quad (53)$$

$$y = 2r \sin \frac{\varphi_x}{2} \cos \left(30^\circ - \frac{\varphi_x}{2} \right). \quad (54)$$

Пользуясь схемой нагрузок, показанной на рис. 12, определим

поперечные усилия по формуле (36) для данного случая $\varphi_m = 60^\circ + \varphi_x$.

$$P_{от(x)} = \frac{q_{пас} + q_x}{2} y = q_{пас} + \frac{\left(q_{пас} \frac{l_{ст} - y}{l_{ст}}\right)}{2} y = \frac{q_{пас} y}{2} \left(2 - \frac{y}{l_{ст}}\right),$$

y определим по формуле (54), а продольные усилия в произвольном сечении найдем по формуле (38).

Расчет верхних и боковых элементов произведен следующим образом: как верхние, так и боковые элементы разделяем на семь расчетных сечений и определяем для каждого сечения параметры φ_x , φ_m , x и y и по вышеуказанным формулам вычисляем изгибающие моменты, поперечные и продольные силы. Результаты расчетов сведены в табл. 18.

Таблица 18

№ сечений	φ_x град	φ_m град	x , м	y , м	M_x , м	Q_x , т	R , т
-----------	------------------	------------------	---------	---------	-----------	-----------	---------

Правый верхний элемент

1	0		0	0	0	0	6,84
2	10		0,26	0,023	-0,014	-0,3	6,94
3	20		0,518	0,09	-0,026	-0,11	7,17
4	30		0,75	0,2	-0,06	0,02	7,57
5	40		0,96	0,35	0,01	0,2	7,94
6	50		1,15	0,54	0,17	1,1	8,28
7	60		1,35	0,73	0	1,63	8,74

Правый боковой элемент

1	0	60	0	0	0	1,61	8,67
2	10	70	0,113	0,287	0,4	0,7	6,84
3	20	80	0,178	0,489	0,26	-0,14	6,83
4	30	90	0,2	0,75	0,21	-0,7	6,75
5	40	100	0,178	1,01	0,11	-0,72	6,96
6	50	110	0,113	1,26	0,06	-0,95	7,23
7	60	120	0	1,5	0	-0,84	7,3

Вычисленные нами результаты проверяем по формулам: в нижнем шарнире верхнего элемента

$$Q_{н.ш} = -N_n \cos \varphi + T_0 \sin \varphi = 1,613 T, \quad (55)$$

$$R_{н.ш} = N_n \sin \varphi + T_0 \cos \varphi = 8,72 T, \quad (56)$$

в нижнем шарнире бокового элемента

$$Q'_{н.ш} = N'_n \sin \varphi_0 - T'_0 \cos \varphi_0 = 0,87 T, \quad (57)$$

$$R'_{n,ш} = N'_n \cos \varphi_0 + T'_0 \sin \varphi_0 = 7,31 \text{ Т.} \quad (58)$$

где $\varphi_0 = 2\varphi - 90^\circ = 120 - 90 = 30^\circ$ (см. рис. 17, а) Проверка вполне подтверждает точность расчетов.

Так как $q_n = q_n$, нижние элементы кольцевой крепи ГТК не рассматриваем и принимаем в них усилия, равные усилиям верхних элементов.

Определив все усилия в шестишарнирной кольцевой системе крепи ГТК, строим эпюру изгибающих моментов, поперечных и продольных сил (см. рис. 17, б).

Из данных табл. 19 и рис. 17 видно, что для подбора поперечного сечения элементов крепи ГТК расчетные усилия равняются $M_{\max} = 0,4 \text{ Т} \cdot \text{м}$, $R_p = 6,84 \text{ Т}$ и $Q_{\max} = 1,61 \text{ Т}$, по этим усилиям, действующим на боковых элементах, производим подбор сечения для конструкции.

Задаемся сечением прямоугольного очертания шириной $b = 23 \text{ см}$ и высотой $h = 7 \text{ см}$. В расчетном отношении железобетонную стойку прямоугольного сечения рассматриваем как внецентренно сжатый элемент с симметричной арматурой, так как в конструкции возникают также моменты с отрицательным знаком (см. табл. 18).

Расчетные усилия на один боковой элемент (стойку):

$$M_{\max} = \frac{0,4}{4} = 0,1 \text{ Т} \cdot \text{м}; \quad Q_{\max} = \frac{1,61}{4} = 0,4 \text{ Т.}$$

$$R = \frac{6,84}{4} = 1,71 \text{ Т.}$$

Для симметричного армирования заданного сечения принимаем арматурную сталь класса А-III [18] периодического профиля ($m_a R_a = 3400$), бетон марки 300 с $R_n = 160 \text{ кг/см}^2$.

Расчет внецентренно сжатого элемента прямоугольного сечения с симметричной арматурой производим следующим образом:

так как
$$\frac{R}{m b h_0 R_n} = 0,1 < \frac{2a'}{h_0} = 0,45, \quad (59)$$

растянутую арматуру определяем по формуле (44).

Принимаем $F_a = F'_a$, эксцентриситет e в формуле (44) определяем по формуле (42), так как $\frac{l_0}{h} = \frac{150}{7} = 21,4 > 10$, то гибкость учитывается. Для чего определяем $n_1 = \frac{R}{m b h R_n} = 0,1$, при $\frac{l_0}{h} = 21,4$ и $n_1 = 0,1$ графически [20] определяем $\eta = 1,1$, затем, подставляя найденные значения в формулу (42), определяем эксцентриситет

$$e = 1,1 \frac{10}{1,71} + 3,5 - 1,3 = 9 \text{ см.}$$

По формуле (44) определяем

$$F_a = \frac{1710}{1 \cdot 3400} \left(\frac{9}{4,4} - 1 \right) = 0,5 \text{ см}^2.$$

Конструктивно принимаем по четыре стержня арматуры как в растянутой, так и в сжатой зоне диаметром 6 мм периодического профиля из стали класса А-III (18) общим сечением

$$F_{об} = F_a + F'_a = 1,13 + 1,13 = 2,26 \text{ см}^2.$$

Для подбора поперечной арматуры проверяем условие

$$m R_p b h_0 = 1292 > Q = 400 \text{ кг}.$$

Так как условие соблюдается, поперечную арматуру принимаем конструктивно из проволоки диаметром 4 мм; расстояние между хомутами определяем $20 \cdot d = 20 \cdot 0,6 = 12 \text{ см}$.

Гладкая тонкостенная кольцевая железобетонная крепь ГТК предназначена для крепления капитальных горизонтальных однопутевых выработок, проводимых в слабых и пучащих породах с $f=0,8 \div 1$. Крепь ГТК представляет собой шестишарнирную кольцевую конструкцию, составленную из тонкостенного элемента прямоугольного сечения шириной 230 мм и высотой 70 мм (см. рис. 16).

Элемент крепи ГТК на одном конце имеет развилку, а на другом конце — выпуклую поверхность, что дает возможность осуществлять монтаж крепи просто и точно. Установка крепи в выработках предусмотрена всплошную. На 1 м выработки устанавливают четыре кольца.

Для изготовления элементов крепи ГТК принят бетон марки 300. Арматурный каркас изготавливается из горячекатаной стали класса А-III — периодического профиля диаметром 6 мм и круглой стали диаметром 4 мм. Производство элементов крепи ГТК может быть организовано на заводах железобетонных изделий и шахтных полигонах, оборудованных пропарочными камерами, вибростолами. Термообработка изделий или выдерживание их до распалубочной прочности производится в формах.

Формы для изготовления сборных железобетонных крепей типа ТАГ и ГТК

Одним из недостатков существующих железобетонных крепей является значительная сложность и трудоемкость в изготовлении их элементов. Сложная конфигурация элементов многих конструкций (УРП, АГК и др.) не дает возможность создания производительных пакетных форм для их массового производства: элементы крепи в основном изготавливаются одиночными формами. Вследствие этого себестоимость крепи, что особенно ощутимо при изготовлении ее в полигонных условиях, сравнительно велика.

Следует отметить, что даже существующие пакетные формы не являются рациональными, так как дают возможность (в боль-

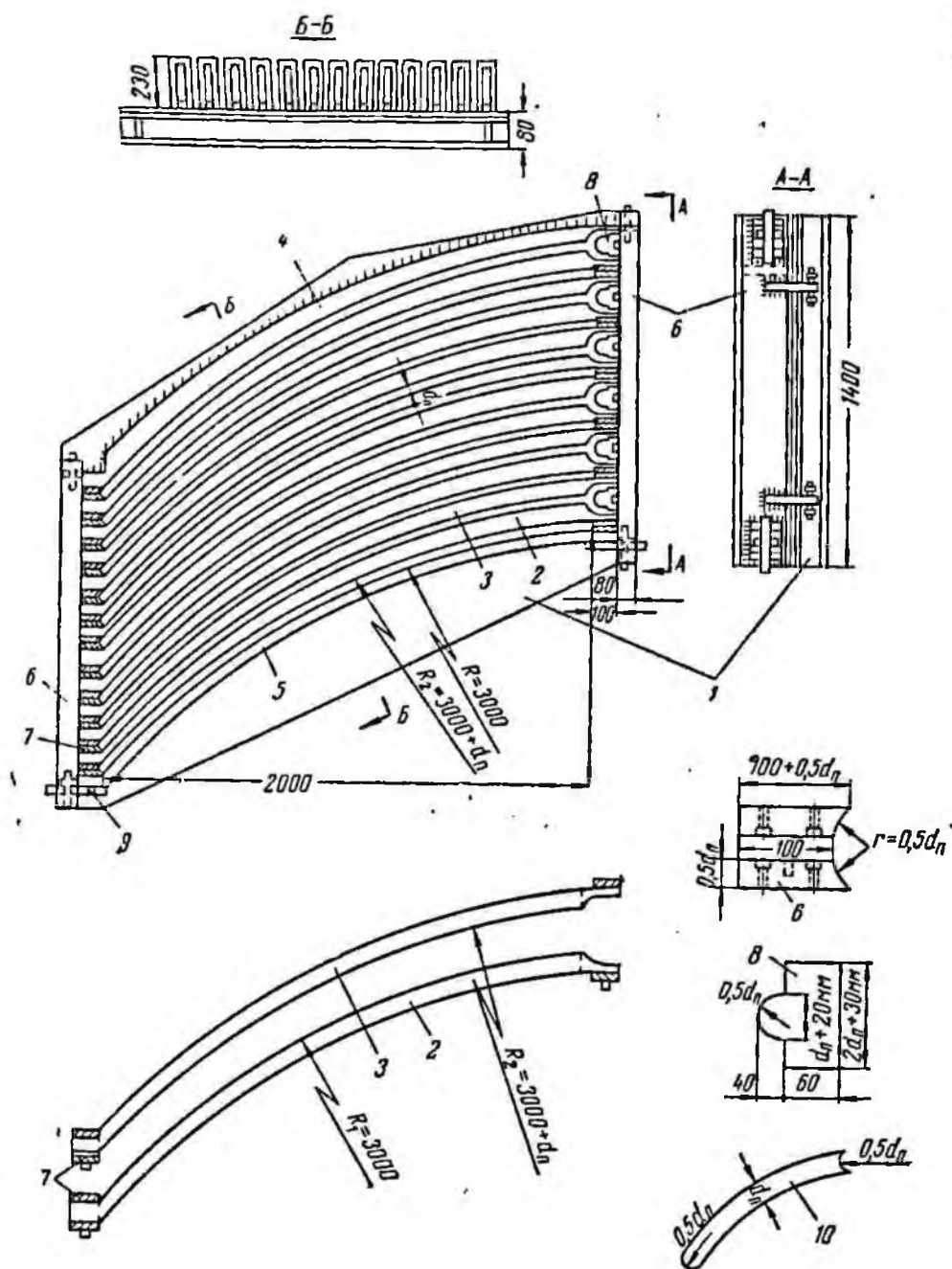


Рис. 19. Универсальная пакетная форма для изготовления крепи ТАГ

шинстве случаев) изготовить сразу 2—3 элемента крепи, что несомненно не может устранить вышеуказанные недостатки. Поэтому создание рациональных пакетных форм для массового производства элементов крепи как в заводских, так и в полигонных условиях является актуальной задачей.

Несложная прямоугольная конфигурация элементов крепей типа ТАГ и ГТК явилась основой для создания универсальных пакетных металлических форм.

На рис. 19 показана универсальная пакетная форма для изготовления арочных элементов крепи типа ТАГ. Сконструированные формы являются разборными и изготавливаются сварными из листовой стали. Формы являются компактными с размерами длиной 2—2,5 м, шириной 1,5—1,8 м и высотой 0,4—0,5 м. Сборка и разборка форм простая, обслуживается одним или двумя рабочими.

Форма для изготовления элементов крепи ТАГ состоит из поддона 1, выполненного из листовой стали толщиной 10 мм и швеллерной рамы, на которой устанавливаются подвижные сегменты 2 и 3, формирующие элементы крепи, изготовленные из листовой стали толщиной 5 мм. С боковых сторон форма заканчивается замыкающими сегментами 4 и 5, один из которых (сегмент 4) наглухо приваривается к поддону. С торцовых сторон форма имеет замковые швеллеры 6, шарнирно соединяющиеся с поддоном. Форма оборудуется также съемными пластинами 7 и оголовниками 8 для образования развилок (лап) в элементах. Сборка и разборка форм осуществляется с помощью замковых швеллеров, которые закрепляются металлическими клиньями 9. Для увеличения жесткости форм в съемных пластинах предусмотрены пальцы, соединяющие две смежные пластины.

Сконструированные формы являются универсальными; с помощью их можно изготавливать элементы крепей ТАГ-I и ТАГ-II разной толщины и длины, т. е. возможно создать элементы указанных крепей различных типоразмеров. Изготовление элементов разных типоразмеров осуществляется заменой съемных пластин 7, оголовников 8 и применением вкладышей 10 (для уменьшения длины элемента), замена которых не представляет трудностей. Изготовление этих деталей в нужном количестве не удорожает и не осложняет предлагаемых нами пакетных форм.

Аналогичные формы сконструированы для изготовления стоек крепи типа ТАГ (рис. 20).

Из-за того, что форма для изготовления стоек крепи ТАГ-II почти аналогична форме для изготовления элементов крепи ГТК (отличаются лишь оголовники), рисунок последней не приводится.

Универсальность предлагаемых нами пакетных форм безусловно расширит диапазон применения новых сборных железобетонных крепей типа ТАГ и ГТК.

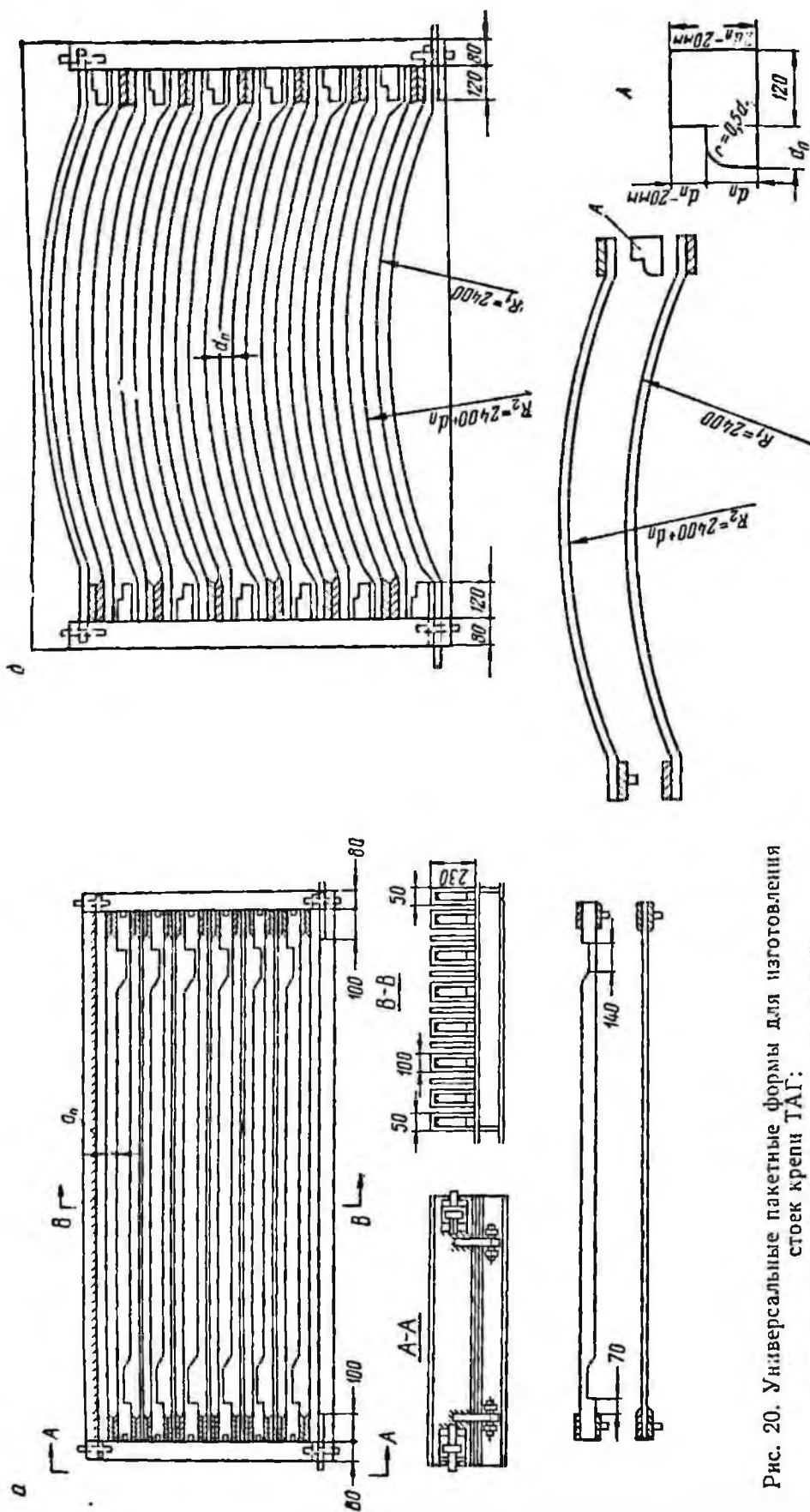


Рис. 20. Универсальные пакетные формы для изготовления
стоек крепл. ТАГ:

а — для крепл. ТАГ-I; б — для крепл. ТАГ-II

Новые материалы для производства железобетонных крепей

Производство цемента еще не удовлетворяет грандиозное потребление народного хозяйства в нашей стране, поэтому их замена более распространенными, недефицитными материалами является важной задачей; к таким материалам относятся силикальциты. В настоящее время имеется достаточный опыт использования силикальцитных изделий в промышленном и жилищном строительстве, что указывает на целесообразность применения силикальцита и в шахтном строительстве.

Основными компонентами силикальцита являются песок и гашеная или негашеная известь. Процесс производства силикатных изделий состоит из: добычи известняка и песка, просева песка, обжига известняка и размол полученной кипелки, сухого смешения полученной кипелки, сухого смешения песка и извести, гашения смеси, формирования и обработки изделий паром.

Для изготовления смеси компонентов силикальцита признание получило предложение канд. техн. наук И. А. Хинта [22], благодаря которому достигается высокое качество материала. Формование изделий производится методами литья, вибрирования, прессования или центрифугирования. Термовлажностная обработка изделий осуществляется в автоклавах при давлении 8 ат, где происходит интенсивное химическое воздействие между известью и кремнеземом в присутствии водяного пара при температуре около 175°C. В зависимости от методов подготовки исходных компонентов, введением в сырьевую смесь различных добавок и способом уплотнения, из одного и того же сырья можно получить изделия, обладающие различной прочностью, объемным весом и другими показателями. Объемный вес силикатных материалов и изделий колеблется от 600 до 2100 кг/м³, предел их прочности при сжатии от 20 до 1000 кг/см².

Представляет интерес опыт применения силикатных изделий в подземных сооружениях. В таллинской фильтровальной станции вместо свинцовых успешно применяется силикальцитные канализационные трубы. В Москве силикальцитные трубы подземных водосток и канализационных коллекторов без ремонта служат почти 25 лет [23]. Приведенные примеры показывают, что изделия из силикальцита, несмотря на воздействие агрессивных вод, отличаются долговечностью службы, что способствует расширению области их применения.

Проведены исследовательские работы для выявления возможности применения силикатных материалов в горном строительстве и на месторождениях Грузии. В 1958—1960 гг. кафедрой стройматериалов Грузинского политехнического института совместно с лабораторией автоклавных изделий научно-исследовательского института промышленных стройматериалов на базе проведенных работ была установлена технология и рецептура производства кре-

пей для горных выработок из местных силикатных материалов. В результате было установлено, что:

изготовление материалов горной крепи из силикатных материалов можно произвести без каких-либо дополнительных капиталовложений на существующих силикатокирпичных заводах Грузии (города Чиатура, Ткварчели и др.);

из местных материалов можно производить силикатные изделия марки 300—800; при этом продолжительность рабочего цикла не превышает 16—18 часов против 20—30 часов при производстве изделий из обычных цементов;

вес элементов горной крепи из силикальцита на 25—30% меньше железобетонных;

стоимость элементов из силикальцита на 30% меньше железобетонных.

Вышеизложенное дает основание считать целесообразным производство крепей типа ТАГ и ГТК из силикальцита.

Технико-экономические показатели крепи ТАГ-II

По методике, изложенной в главе II, определяются технико-экономические показатели крепи ТАГ-II и производится их сравнение с показателями различных типов горной крепи.

Показатели по фактору несущей способности или по критерию экономичности. Определив критерии экономичности по формуле (5), все показатели сведем в табл. 19.

Таблица 19

Конструкция крепи	Сечение выработки в свету, м ²	Несущая способность, крепи, т/м ²	Расход сборного железобетона на 1 м выработки, м ³	Вес материала, приходящийся на 1 м ² обсаждения, т	Стоимость 1 т материала, руб.	Показатель экономичности $\eta = \frac{q}{\sigma a}$
Тонкостенная арочная	6	5	0,34	0,11		2
гладкая железобетонная	8	4	0,41	0,11	25	1,5
крепь ТАГ-II	10	3	0,43	0,11		1,1

С целью упрощения сравнения показателей крепи ТАГ-II и различных видов крепей предлагается график (рис. 21), построенный по данным табл. 4 и 19. Как видно из табл. 19 и рис. 21, крепь ТАГ-II характеризуется высокими показателями по несущей способности или по критерию экономичности, что указывает на рациональное использование сборного железобетона в ее конструкции.

Показатели трудоемкости возведения. Трудоемкость возведения крепи ТАГ-II нами принята на основе хронометражных наблюдений при установке опытной партии. Эти показатели сведены в табл. 20.

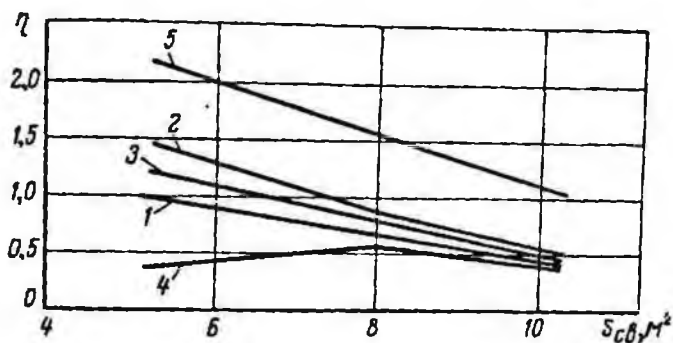


Рис. 21. График критерия экономичности для различных видов крепей:

1 — смешанной конструкции; 2 — металлической рамной; 3 — монолитной бетонной; 4 — типа УРП; 5 — ТАГ-II

Очевидно, в дальнейшем, при массовом применении в промышленности крепи ТАГ-II, трудовые затраты на возведение будут еще снижены.

Таблица 20

Конструкция крепи	Сечение выработки в свету, м²	Трудовые затраты на возведение крепи, 1 м выработки, чел-смен
Крепь ТАГ-II	6	0,8
	8	1,1
	10	1,4

Для сравнения показателей по этому фактору построен график трудоемкости возведения (рис. 22) по данным табл. 5 и 20. Как видно из графика, приведенного на рис. 22, по трудоемкости процесса возведения крепь ТАГ-II также не уступает другим конструкциям и характеризуется сравнительно малыми трудовыми затратами на ее возведение. Это преимущество обусловлено легкостью ее элементов. При применении эффективных малогабаритных крепеукладчиков трудоемкость возведения еще более уменьшится.

Объем горных работ, связанных с толщиной крепи. Абсолютное и относительное отношение сечения выработки в проходке к сечению в свету при крепи ТАГ-II приведено в табл. 21.

Преимущество крепи ТАГ-II по объему горнопроходческих работ, связанных с толщиной крепи, ясно видно из графика (рис. 23), построенного по данным табл. 6 и 21. Это преимущество

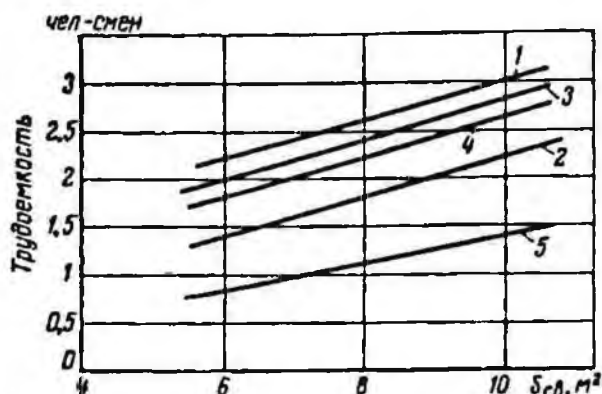


Рис. 22. График трудоемкости возведения крепи:
1 — смешанной конструкции; 2 — металлической рамной;
3 — монолитной бетонной; 4 — типа УРП; 5 — ТАГ-II

Таблица 21

Конструкция крепи	Сечение выработки в свету, м²	Значение ΔS	
		м²	%
Крепь ТАГ-II	6	1,1	16
	8	1,2	13
	10	1,3	11

обусловлено тонкостенностью и гладкостью элементов крепи ТАГ-II. Следует отметить, что эффективность крепи ТАГ-II по этому фактору особенно возрастает при ведении буровзрывных работ методом «гладкого взрывания».

Стоимость энергии на подачу воздуха по выработке. Пользуясь формулами (16) и (17), определяем депрессию и стоимость энергии на проветривание 1 м выработки в год. Все расчетные показатели сведены в табл. 22.

Для сравнения показателей по этому фактору по данным табл. 7 и 22 строим графики (рис. 24) изменения стоимости энергии на проветривание. Аэродинамическое сопротивление крепи ТАГ-II благодаря гладкости элементов минимальное и не превышает сопротивления монолитной бетонной крепи. Поэтому стои-

мость энергии на проветривание при этих крепях намного меньше по сравнению с другими видами крепи.

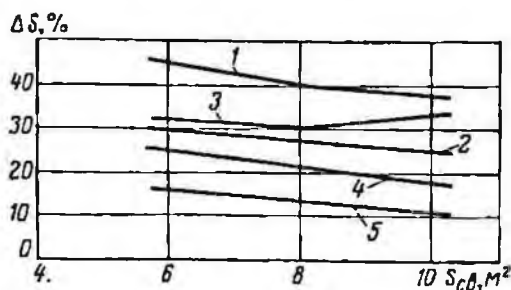


Рис. 23. График объемов дополнительных горных работ (ΔS , %):

1 — смешанной конструкции; 2 — металлической рамной; 3 — монолитной бетонной; 4 — УРП; 5 — ТАГ-II

Таблица 22

Конструкция крепи	Сечение выработки в свежу, m^2	$\alpha \cdot 10^4$	h , kg/m^2	Стоимость энергии на проветривание 1 м выработки в год, руб.
Крепь ТАГ-II	6	5	0,022	0,85
	8	5	0,02	1,16
	10	5	0,018	1,17

Экономические показатели. Экономические показатели по капитальным и эксплуатационным расходам при сроке службы выработки 20 лет сведены в табл. 23. Как видно из табл. 23, между капитальными расходами и суммарной стоимостью 1 м выработки небольшая разница, что обусловлено минимальными эксплуатационными расходами, т. е. минимальными расходами на проветривание.

Для сравнения экономических показателей различных крепей по данным табл. 9, 10 и 23 строим графики (рис. 25) зависимости капитальных и эксплуатационных расходов от сечения выработок в

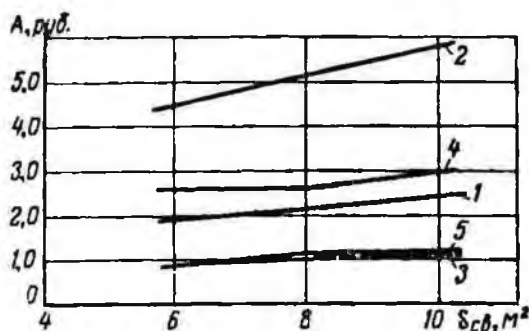


Рис. 24. График изменения стоимости энергии на проветривание при различных крепях:

1 — смешанной конструкции; 2 — металлической рамной; 3 — монолитной бетонной; 4 — типа УРП; 5 — ТАГ-II

Таблица 23

Крепь	Сечение выработки в свету, м ²	Стоимость 1 м выработки по капитальным расходам, руб.			Эксплуатацион- ные расходы на 1 м выра- ботки, руб.	Полная стоимость 1 м выработки, руб.
		проведение	крепление	полная стоимость по капи- тальным расходам, руб.		
ТАГ-II	6	48,3	28,3	91,2	17	108,2
	8	63,6	34	116,8	23,2	140,0
	10	80,2	35,7	136,8	23,4	160,2

свету. Как видно, экономические показатели по прямым нормируемым расходам крепи ТАГ-II значительно превосходят показатели других конструкций крепей. Из графика суммарных расходов (капитальных и эксплуатационных) видно, что показатели металлической крепи резко ухудшились, а ее полная стоимость намного выше остальных конструкций крепей. Стоимость 1 м выработки при крепи ТАГ-II увеличилась незначительно. Данные графиков указывают на решающее значение фактора вентиляции при экономической оценке конструкции крепи.

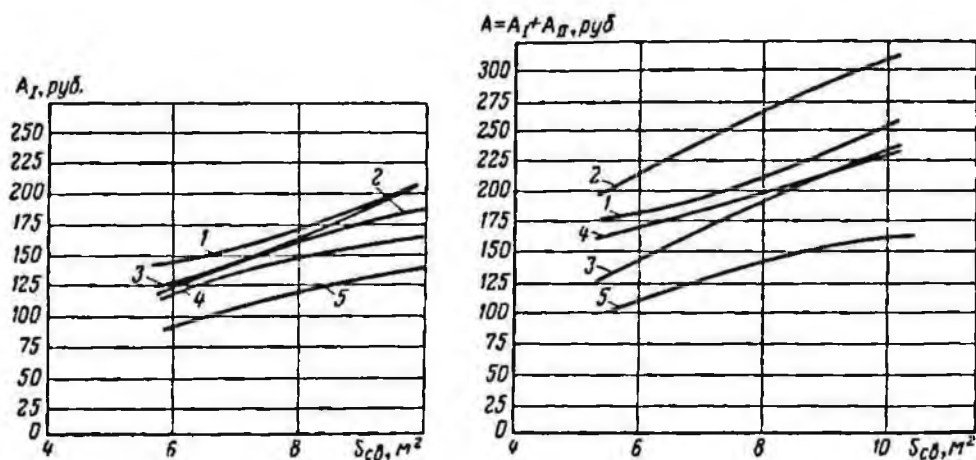


Рис. 25. Экономические показатели различных видов крепей:

1 — смешанной конструкции; 2 — металлической рамной; 3 — монолитной бетонной; 4 — типа УРП; 5 — ТАГ-II; A_1 — капитальные расходы; $A = A_1 + A_2$ — суммарные (капитальные и эксплуатационные) расходы

Необходимо отметить, что технико-экономические показатели крепи ТАГ-II также значительно выше в сравнении с конструкциями типа НАП, УРПМ, УТЭ и АГК (применительно к условиям Грузии). Применением крепи ТАГ-II расход бетона снижается по сравнению с НАП на 25—27%, с УРПМ на 30%, с УТЭ на 38—40%, с АГК на 27%. Экономия арматуры соответственно со-

ставляет по сравнению с УРПМ — 54%, с УТЭ — 36—41%, с АГК — 30—42%.

Эффективность новой крепи ТАГ-II, помимо высоких технико-экономических показателей, определяется также ее конструктивными достоинствами, позволившими устранить основные недостатки существующих железобетонных крепей.

Указанными достоинствами являются:

гладкость поверхностей элементов крепи, благодаря которой достигается минимальное аэродинамическое сопротивление и упрощается забутовка закрепленного пространства;

тонкостенность элементов, которая позволяет довести до минимума объем горных работ, связанный с толщиной крепи;

легкость элементов, благодаря которой снижается трудоемкость возведения крепи и обеспечивается разработка легких крепеукладчиков для эффективного применения в стесненных условиях горных выработок;

технологичность и невысокая трудоемкость изготовления элементов крепи и возможность их производства как в полигонных, так и в заводских условиях;

большая конструктивная устойчивость пятишарнирной арочной системы крепи ТАГ по сравнению с полигональной — шестишарнирной системой.

Заканчивая рассмотрение крепи ТАГ-II по факторам, определяющим рациональность типа горной крепи, и по конструктивным достоинствам, можно констатировать, что она характеризуется высокими показателями, указывающими на рациональность ее конструкции.

Глава V

ОПЫТ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КРЕПЕЙ

Работы по внедрению новых видов железобетонных крепей были начаты на Чиатурском месторождении [24]. Первая опытная партия крепи была изготовлена на полигоне комбината строительных материалов треста Чиатурстрой. Для изготовления элементов

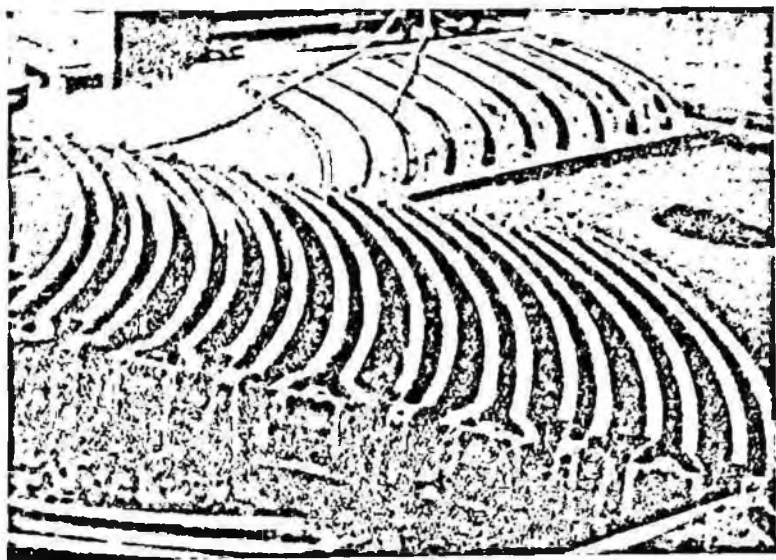


Рис. 26. Металлическая опалубка на полигоне железобетонных изделий

крепи была сконструирована металлическая форма-опалубка (рис. 26), которая позволяла производить одновременно пять пар элементов крепи. Три таких формы опалубки были изготовлены летом 1960 г. в Центральных электромеханических мастерских треста Чиатурмарганец.

Элементы крепи изготавливали по следующей схеме. Сначала на станке точечной сварки изготавливали плоские каркасы арматуры

(рис. 27) с последующим изгибом до нужной кривизны. Эти каркасы укладывали в соответствующие ячейки формы-опалубки, образованные парой ребер. В каждой паре ребер одно приваривалось к поддону опалубки, а другое могло перемещаться в диапазоне 1,5—2 см после ослабления соответствующих крепежных гаек. После укладки и фиксации арматурного каркаса во всех десяти ячейках сверху опалубки укладывали крышку с вырезами, соответствующими форме элементов крепи. С помощью автокрана

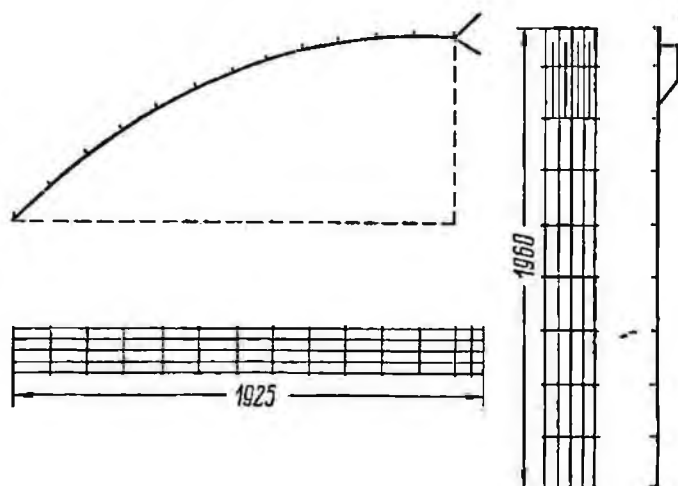


Рис. 27. Каркас арматуры

опалубку помещали на вибростол и заливали бетоном марки 300 с максимальной крупностью заполнителя 20 мм. После уплотнения бетона форму-опалубку с бетоном укладывали в пропарочную камеру, где выдерживали в течение 12 часов, после чего ее доставали из камеры и с помощью автокрана выдвигали из опалубки готовые элементы (рис. 28), предварительно ослабив зажимные гайки опалубки. Дно и стенки ячеек перед заливкой бетоном смазывали соляровым маслом, что предотвращало прилипание элементов к стенкам опалубки.

Первая партия элементов крепи была изготовлена в августе 1960 г. в объеме для закрепления 60 м двухпутевой штольни.

Перед началом установки на опытном участке крепь была опробована на поверхности на специальном стенде. Стенд имитировал собой 1 м двухпутевой штольни. Нагрузка на крепь была доведена до 20 Т (т. е. до 5 Т/м²), однако каких-либо деформаций в крепи в течение длительного периода обнаружено не было. После этого в сентябре и октябре 1960 г. был закреплен участок протяженностью 60 м двухпутевой штольни рудоуправления Ахали-Итхвиси. Породы кровли указанного участка представлены песчанистыми сланцами с $f=2\div 3$. Так как выработка была проведена

в расчете на смешанную крепь с плоским перекрытием, то необходимо было в паспорте предусмотреть дополнительные забутовочные работы в объеме около 2 м^3 на 1 м штольни. На это уходило сравнительно много времени. Что касается установки самих арочных элементов, то благодаря их легкости (до 60 кг) эту работу легко выполняли двое рабочих в течение $15\text{--}20 \text{ мин}$ (на 1 м выработки). На рис. 29 показан участок штольни, закрепленный тонкостенными железобетонными арками типа ТАГ.



Рис. 28. Извлечение готового элемента крепи из формы

До настоящего времени, т. е. около 5 лет, этот участок служит вполне удовлетворительно, без каких-либо деформаций. Максимальное горное давление в штольнях согласно наблюдениям было зафиксировано уже через $5\text{--}6$ месяцев.

Представляют интерес данные экономического эффекта при сравнении сметных стоимостей новой крепи с крепью смешанной конструкции, применяемой в капитальной штольне Ахали-Итхвиси (см. рис. 1, в). Экономические показатели новой и старой крепи сведены в табл. 24.

Как видно из данных табл. 24, при прочих равных условиях, т. е. при одинаковых объемах горных работ и толщине стен, экономия на 1 м готовой штольни при новой крепи (за счет замены плоского металлического перекрытия железобетонными арками и уменьшения высоты стен) достигла $56,5 \text{ руб.}$

Другая партия крепи для испытания в более сложных горногеологических условиях была изготовлена по заказу треста Чиатурмарганец Руставским комбинатом железобетонных изделий. Были использованы те же формы-опалубки, изготовленные в ЦЭММ треста Чиатурмарганец.

Таблица 24

Процессы работ	Объем работ	Сравнительная таблица стоимости 1 м готовой выработки при крепи				
		смешанной конструкции с металлическим (двутавровые балки) перекрытием		смешанной конструкции с арочным перекрытием из элементов ТАГ		
		расценка, руб.	стоимость на 1 м выработки, руб.	объем работ	расценка, руб.	стоимость на 1 м выработки, руб.
Проведение, м ³	15,7	5,0	78,5	15,7	5,0	78,5
Возведение стен из природных камней, м ³	3,1	12,3	38,13	2,0	12,3	24,6
Перекрытие металлическими балками (двутавр № 22), т	0,324	76	24,62	—	—	—
Затяжка кровли деревом, м ³	4	2,23	8,92	—	—	—
Железобетонное арочное перекрытие из плит ТАГ, м ³	—	—	—	0,22	69	15,18
Водоотводная канавка, м	1	4,49	4,49	1,0	4,49	4,49
Настилка рельсового пути, м	1	12,9	12,9	1,0	12,9	12,9
Балластировка, м ³	0,57	4,89	2,5	0,57	4,89	2,5
Побелка, м ²	6	0,03	0,18	5,0	0,03	0,15
Итого			169,74			137,84
Общешахтные расходы 36,1%			60,40			48,90
Итого			230,14			186,74
Накладные расходы 27%			61,6			49,88
Итого			291,75			236,62
Плановое накопление 2,5%			7,23			5,86
Всего			298,97			242,48

Для испытания новой крепи были избраны откаточные штольни рудников «Зеда-Ргани» и «Дарквети». Капитальная штольня рудника «Зеда-Ргани» находится в сложных горногеологических условиях, породы кровли здесь представлены глинистыми и песчанстыми сланцами с $f=1\div 2$. Условия поддержания штольни

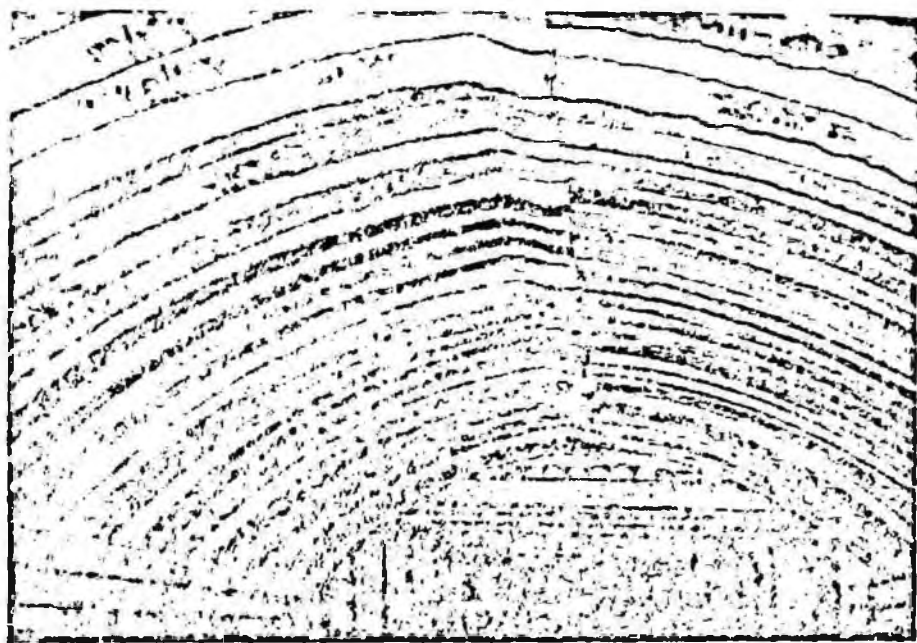


Рис. 29. Вид участка штольни, закрепленного крепью типа ТАГ

осложнены еще тем, что она пройдена по участкам, ранее разрабатывавшимся. На этих участках породы кровли нарушены, встречаются отдельные пустоты и т. д. Вследствие этого, проходческие работы вели без применения буровзрывных работ с возведением сплошной временной крепи вплотную к груди забоя, которая при возведении постоянной крепи не извлекалась. Постоянная крепь здесь смешанная, однако в отличие от паспорта, принятого для рудника «Ахали-Птхвиси», стены возводятся из монолитного бетона с толщиной 30 см, кровлю между металлическими балками обычно заливают монолитным бетоном (рис. 30).

Новым видом крепи в апреле 1962 г. был закреплен участок штольни протяженностью 34 м. Паспорт крепления штольни рудника «Зеда-Ргани» тонкостенной арочной сборной железобетонной крепью показан на рис. 31. Следует отметить, что при возведении новой крепи временную деревянную крепь полностью извлекали, так как для установки отдельных арок требовалось пространство не более 25 см, т. е. извлечение одной деревянной рамы временной крепи. Участок штольни рудника «Зеда-Ргани», закрепленный

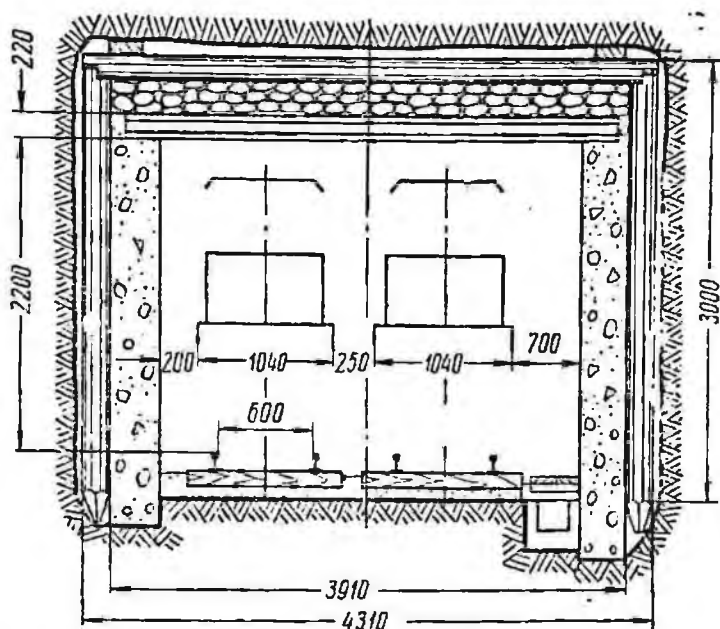


Рис. 30. Смешанная крепь в капитальной штольне рудника «Зеда-Ргани»

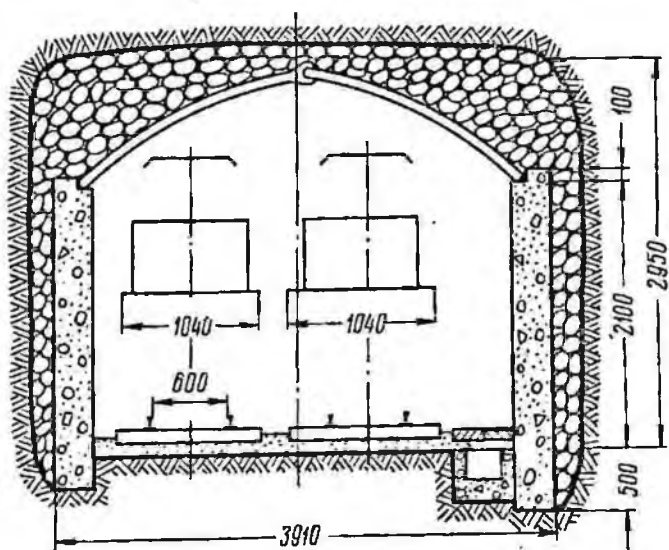


Рис. 31. Предложенная крепь для штолен рудников «Зеда-Ргани» и «Дарквети»

новой крепью, со дня установки не испытывал никаких деформаций и до настоящего времени служит вполне нормально.

Особенно в сложных горногеологических условиях испытывается новая крепь в капитальной штольне рудника «Дарквети». Здесь породы кровли представлены зелеными глинами с $f=0,8\div 1$. Паспорт крепления штольни рудника «Дарквети» новой крепью такой же, что на руднике «Зеда-Ргани». Здесь был закреплен участок протяженностью 11 м. Несмотря на наличие большого горного давления, достигающего 14 Т/м^2 , указанный участок работает без каких-либо заметных деформаций и служит до настоящего времени, т. е. около 3 лет вполне нормально. Соседние же участки, закрепленные смешанной крепью из бетонных стенок, перекрываемые на 1 м тремя двутавровыми балками № 27 вследствие большого горного давления часто деформировались, что выражалось в прогибе балок.

Таким образом, промышленное испытание новой тонкостенной арочной гладкой железобетонной крепи ТАГ на рудниках треста Чиатурмарганец вполне определило ее технико-экономические преимущества перед существующими ранее конструкциями крепей капитальных штолен.

Учитывая вышележащее, трестом Чиатурмарганец принята новая железобетонная крепь ТАГ для широкого применения во всех капитальных выработках. С этой целью трестом сооружается специальный полигон железобетонных изделий для массового производства элементов новой крепи.

Капитальная штольня шахты № 8 треста Ткварчелуголь крепится сборной железобетонной крепью типа УРП с полигональной формой сечения выработки. Глубина заложения штольни изменяется в соответствии с рельефом местности в пределах от 100 до 900 м. Пересекаемые породы относятся к порфиритовой свите байоса с преобладанием туфогенных песчаников, туфобрекчий и других вулканических пород с $f=8\div 17$. Угол наклона пластов $0\text{—}30^\circ$. При этом породы с $f>10$ составляют около 70%. При такой крепости пород сколько-нибудь ощутимой величины горного давления не следует ожидать. Это предположение подтверждается визуальными наблюдениями за состоянием незакрепленных участков штольни, а также инструментальными измерениями горного давления с помощью гидравлических динамометров, установленных под ножи крепи УРП. Однако вследствие наличия развитой сети тектонических трещин и других нарушений, в откаточной штольне все же необходимо возводить крепь для обеспечения безопасности работ.

Исходя из этих соображений автором совместно с канд. техн. наук Н. Д. Джанджгава было предложено заменить в штольне шахты № 8 крепь УРП крепью ТАГ-I, специально разработанной для указанных условий. В рассматриваемых условиях особое значение приобретают такие свойства крепи ТАГ-I, как малый расход материалов на крепь, сокращение объема горных работ, форма

очертания, приближающаяся к естественному своду равновесия, и гладкость поверхности крепи. Предложение было одобрено трестом Грузшахтострой и принято к внедрению.

Калькуляция расходов для двух сравниваемых крепей, составленная строительным управлением Ткварчелшахтстрой треста Грузшахтстрой, приводится в табл. 25, из которой видно, что экономия на 1 м откаточной штольни определяется в размере около 100 руб.

Таблица 25

Процессы работ	Объем работ	Проектные показатели при крепи УРП		Показатели при крепи ТАГ-II		
		стоимость единицы, руб.	стоимость на 1 м выработки, руб.	объем работ	стоимость единицы, руб.	стоимость на 1 м выработки, руб.
Проведение, м ³	13	12,1	157,3	11,5	12,1	139,15
Возведение крепи, м ³	0,71	119	84,49	0,43	119,0	51,17
Устройство водосточной канавки, м	1	7,7	7,7	1	7,7	7,7
Настилка рельсового пути (двухпутевая), м	1	13,2	13,2	1	13,2	13,2
Балластировка, м ³	0,545	5,44	3,13	0,545	5,44	3,13
Побелка, м ²	12,8	0,044	0,56	8,8	0,044	0,39
Итого . . .			266,38			214,74
Общешахтные расходы 48,3%			128,66			103,74
Итого . . .			395,04			318,46
Накладные расходы 27%			106,66			85,98
Итого . . .			501,70			404,44
Плановое накопление 2,5%			12,54			10,11
Всего . . .			514,24			414,55

Для вскрытия поля шахты «Западная-2» треста Ткибулуголь от действующего горизонта (300 м) и шахты «Западная-1» прово-

дятся откаточный и вентиляционный квершлаг, которые должны пересечь слабые породы (аргиллиты, алевролиты с $f=1-2$), склонные к поддуванию. При этом глубина расположения этих выработок вначале составит 450 м, а в дальнейшем превысит 500 м. Для крепления этих выработок была запроектирована монолитная бетонная крепь с обратным сводом (рис. 32, а). Однако опыт по-

казал, что монолитная бетонная крепь в данных условиях работает неудовлетворительно. Наблюдались массовые деформации бетонной крепи, наиболее характерные из которых показаны на рис. 33.

Кроме того, необходимо отметить, что развитие горного давления в данных условиях происходит настолько быстро, что бетон даже не успевает достичь расчетной прочности. Вместе с этим применение монолитного бетона значительно усложняет общую организацию работ по сооружению квершлаг-

гов. Учитывая это обстоятельство, автором совместно с канд. техн. наук И. Д. Джанджава в 1962 г. было предложено заменить в вышеуказанных выработках монолитную бетонную крепь шестишарнирной кольцевой сборной железобетонной крепью ГТК (см. рис. 32, б).

В настоящее время было решено закрепить новой крепью опытные участки с наиболее тяжелыми условиями (25).

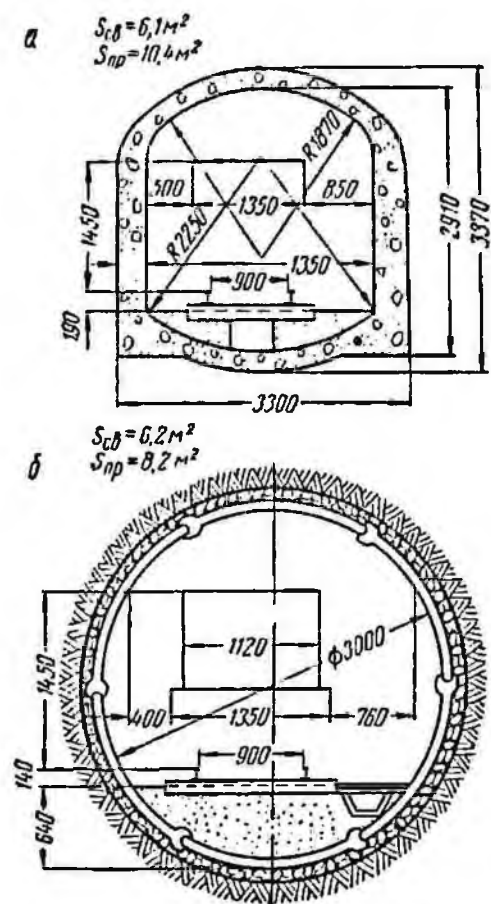


Рис. 32. Конструкции проектной (а) и предлагаемой новой (б) крепей квершлагов шахты «Западная-2»

При разработке конструкции крепи сечение элементов было подобрано так, чтобы при работе на сжатие оно было равноценно бетонной крепи. Однотипность и малый вес (70 кг) элементов новой крепи (рис. 34) облегчают монтаж ее в подземных условиях.

Для изготовления элементов крепи автором была рекомендована металлическая пакетная форма-опалубка (рис. 35, а), описанная в IV главе настоящей брошюры. На основании этой опалубки была разработана новая оригинальная форма-опалубка. В этой конструкции (рис. 35, б) ребра (сегмент), образующие форму для заливки, одним своим концом крепятся шарнирно к крышке



Рис. 33. Характерные деформация монолитной бетонной крепи

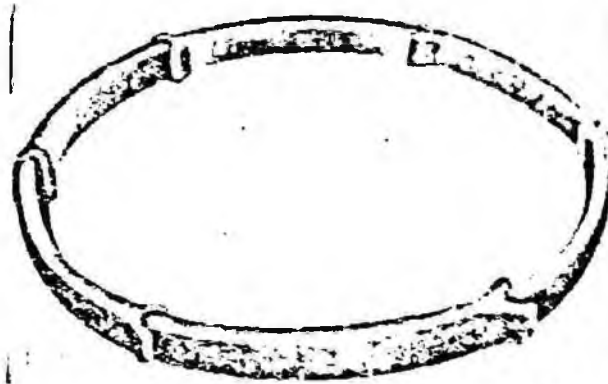


Рис. 34. Однотипные элементы крепи ГТК

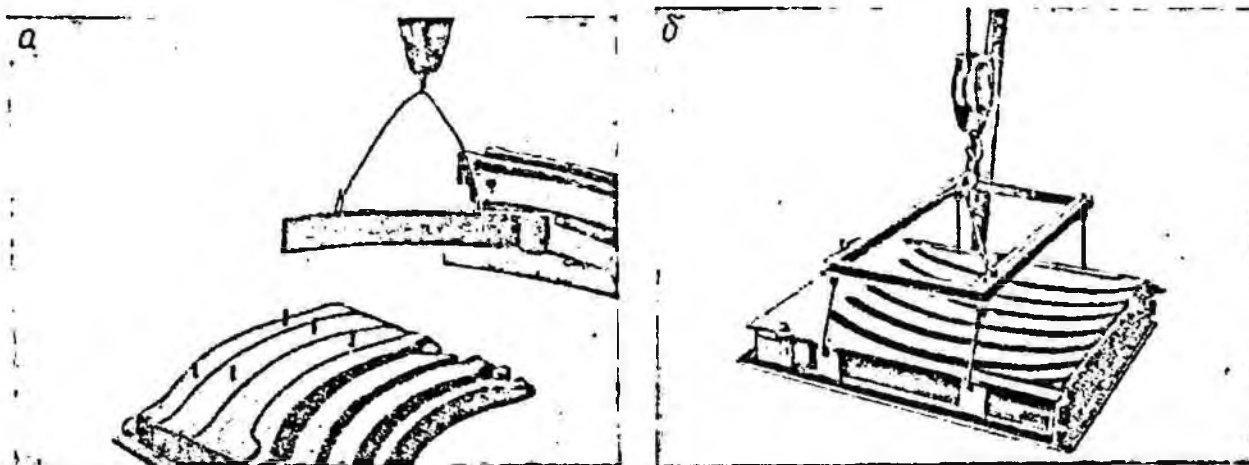


Рис. 35. Формы-опалубки для крепи ГТК

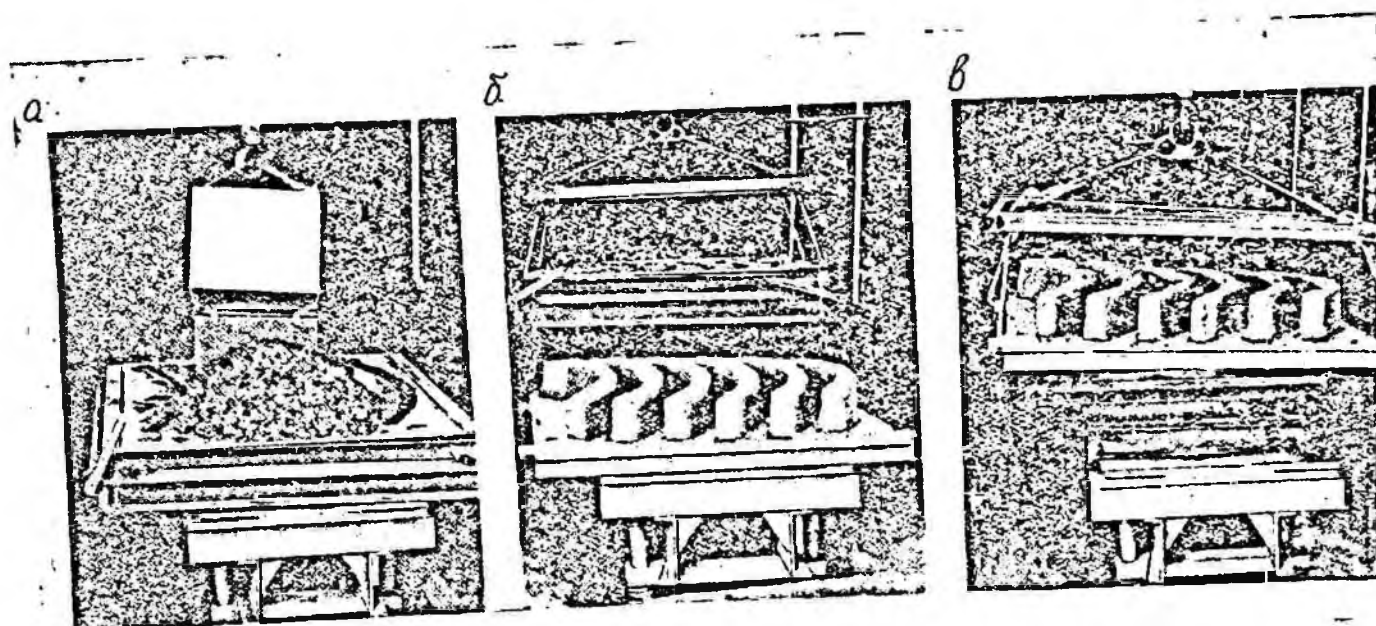


Рис. 36. Изготовление крепи типа ГТК

опалубки. Раскрытие и закрытие ребер происходит механически с помощью ручки.

Изготовление элементов крепи ГТК механизировано. Бетон подается и разгружается в форму, установленную на виброплощадке в контейнерах с донной разгрузкой (рис. 36, а), объем контейнера соответствует объему одной формы. После вибрирования происходит распалубка (рис. 36, б) и элементы на поддоне формы направляются в пропарочную камеру (рис. 36, в). При изготовлении элементов рекомендуемой нами формой (опалубкой) распалубка происходит после пропаривания изделий.

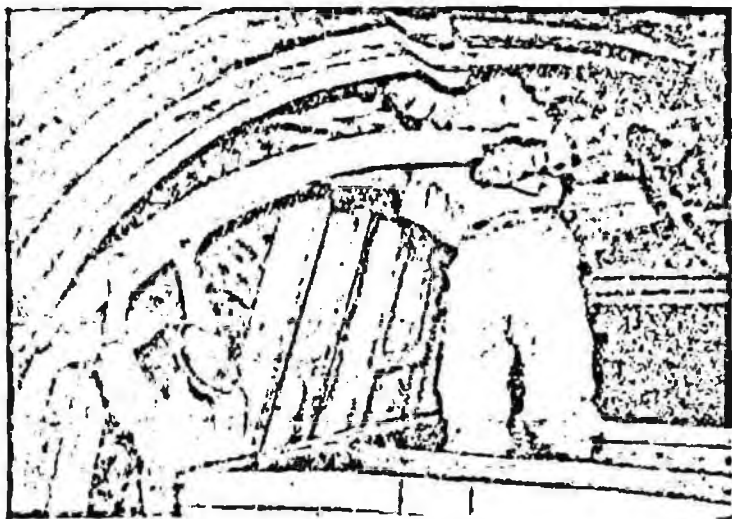


Рис. 37. Монтаж крепи ГТК

В 1964—1965 гг. комбинатом подсобных предприятий (строительное управление треста Ткибулшахтострой) освоено изготовление элементов крепи ГТК и производится массовый ее выпуск.

Монтаж крепи ГТК осуществляется двумя рабочими (рис. 37) в следующем порядке: вначале укладываются нижние два сегмента, затем боковые сегменты, последними стыкуются сегменты в верхней части. После этого происходит тщательная забутовка закрепленного пространства.

Опыты показали работоспособность крепи и легкость ее установки. После этого с 1963 г. было начато широкое промышленное внедрение новой крепи. По состоянию на конец 1965 г. новой конструкцией — шестишарнирной кольцевой крепью ГТК закреплено более 3000 м выработок. Крепь работает вполне удовлетворительно без всяких деформаций (рис. 38).

Наряду с техническими преимуществами новой крепи была получена значительная экономия средств (табл. 26), превышающая на каждый 1 м квершлага 60 руб. Значительно повысилась

скорость и производительность труда по креплению выработки. Так, например, скорость сооружения квершлага с применением новой крепи достигла 120—140 м/месяц против 25—30 м/месяц при бетонной крепи. Уменьшился объем внутришахтных перевозок крепёжных материалов. Все это способствовало значительному улучшению технико-экономических показателей строительства шахты в целом.

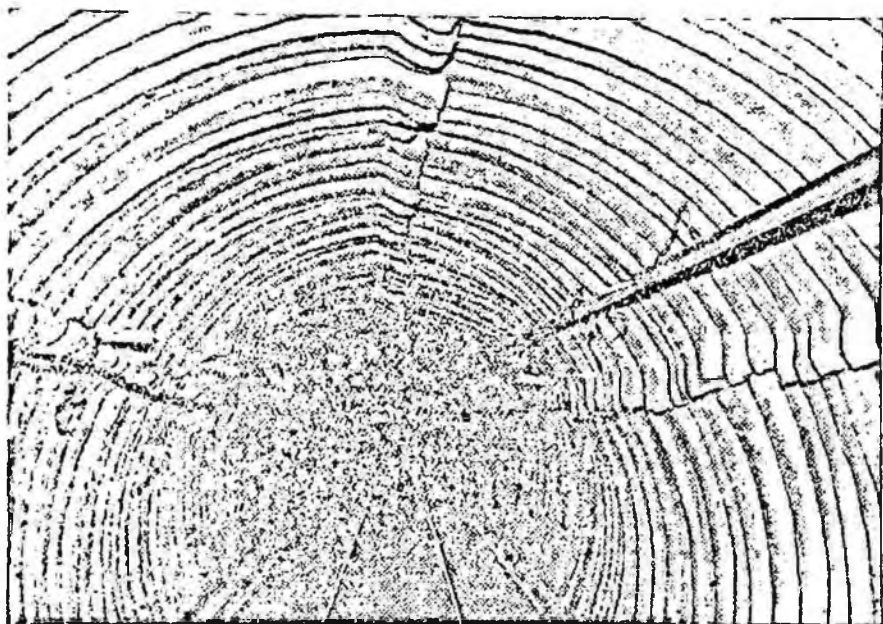


Рис. 38. Вид квершлага, закрепленного крепью ГТК

В настоящее время проектные институты Донгипрошахт, Южгипрошахт, Днепрогипрошахт и Луганскгипрошахт рассматривают совместно с Институтом горного дела АН ГССР вопрос об испытании новой кольцевой шестишарнирной сборной железобетонной крепи ГТК для крепления однопутевых выработок на глубоких горизонтах шахт Донбасса.

Очевидно, необходимо продолжить опыты по креплению новой крепью капитальных выработок на глубоких горизонтах действующих шахт Ткибули-Шаорского каменноугольного месторождения.

В заключение можно отметить, что результаты промышленных испытаний крепей типа ТАГ и ГТК дают основание рекомендовать их для применения при глубине разработки 500—600 м от земной поверхности в капитальных выработках в различных угольных бассейнах страны.

Таблица 26

Пропессы работ	Объем работ	Показатели монолитной бетонной крепи		Показатели крепи ГТК		
		стоимость единицы, руб.	стоимость на 1 м. руб.	объем работ	стоимость единицы, руб.	стоимость на 1 м. руб.
Проведение, м ³ .	10,4	5,01	52,1	8,2	5,01	41,08
Бетонирование стен, м ³	1,2	27,3	32,76	—	—	—
Бетонирование свода, м ³	1,05	30,5	32,03	—	—	—
Бетонирование обратного свода, м ³	0,69	27,1	18,7	—	—	—
Крепление сборным железобетоном, м ³	—	—	—	0,7	100,0	70,0
Бетонирование под путями, м ³	0,61	23,5	14,34	—	—	—
Балластировка, м ³	—	—	—	0,9	3,5	3,15
Настилка путей, м	1	7,0	7,0	1	7,0	7,0
Устройство водоотводной канавки, м	—	—	—	1	5,13	5,13
Побелка, м ²	6,8	0,03	0,21	6,8	0,03	0,21
Итого			157,14			126,37
Услуги вспомогательных цехов 61,5%			96,64			77,84
Итого			253,78			204,41
Накладные расходы 27%			68,52			55,19
Итого			322,30			259,60
Плановое накопление 2,5%			8,06			6,49
Всего			330,36			266,09

ЛИТЕРАТУРА

1. Цискаришвили Э. И., Джанджгава И. Д., Махарадзе М. Н. К вопросу крепления капитальных штолен на Чиатурских рудниках. Труды ГПИ им. Ленина, № 7 (Изд. ГПИ им. Ленина), 1961.
2. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. Госиздат, 1962.
3. Джанджгава И. Д. Выбор рационального вида крепи капитальных орных выработок. Госгортехиздат, 1963.
4. Толпыгин В. Г. Металлическая крепь в подготовительных выработках. «Уголь», 1940, № 8.
5. Насонов Л. Н. Выбор профиля металла для рудничной крепи. «Вопросы проведения горных выработок». Углетехиздат, 1955.
6. Иванов П. С. Сборная железобетонная крепь и механизация ее возведения. ЦИНТИ, Алма-Ата, 1958.
7. Кашибадзе В. В. Аэродинамическое сопротивление горных выработок при новых видах крепления. Углетехиздат, 1950.
8. Ксенофонтова А. И. и др. Вентиляционное сопротивление горных выработок. Углетехиздат, 1950.
9. Сборник № 32 единых районных единичных расценок на горнопроходческие работы. Госстройиздат, 1960.
10. Кацауров И. Н. Расчеты крепи горных выработок. Изд. МИРГЭМ, 1964.
11. Рабкин С. Л., Муратов И. В., Ширяев Г. А. Сборные железобетонные конструкции шахтной крепи. Госгортехиздат, 1960.
12. Каталог сборной железобетонной крепи для подземных выработок. Центрогипрошахт, 1961.
13. Дроздов П. Ф., Гелескул М. Н. Сборный железобетон в креплении подземных горных выработок шахт. Госстройиздат, 1958.
14. Денисов Н. М. Железобетонная крепь и ее применение на шахтах Кузбасса. Кемеровское издательство, 1959.
15. Карпукhin Н. С. Железобетонные конструкции. Госгортехиздат, 1957.
16. Дыховичный А. И., Дыховичный Ю. А. Железобетонные конструкции. Углетехиздат, 1957.
17. Нормы и технические условия проектирования бетонных и железобетонных конструкций (НИТУ 123—55), 1956.
18. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел В. Глава I—Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования (СНиП II—В1—62). Госстройиздат, 1962.
19. Жемочкин Б. Н., Пашевский Д. П. Статика сооружений. Госиздат архитектуры и градостроительства, 1950.
20. Улицкий И. И. и др. Железобетонные конструкции. Госиздат технической литературы. УССР, 1958.
21. Козлов В. Ш., Дыховичный А. А. Расчет железобетонных конструкций. Госстройиздат УССР, 1963.
22. Хинт И. А. Дезинтеграторный способ изготовления силикатных и силикатных изделий. Эстонское государственное издательство, 1952.
23. Чеченин М. Е. О стойкости автоклавных силикатных материалов в агрессивных условиях. «Автоклавные материалы и изделия». Госиздат, 1950.
24. Джанджгава И. Д., Махарадзе М. Н. Новая сборная железобетонная крепь для капитальных выработок. ЦИТИ, «Проектирование и строительство угольных предприятий», № 5, 1962.
25. Джанджгава И. Д., Махарадзе М. Н. Внедрение сборной железобетонной крепи новой конструкции. «Шахтное строительство», 1964, № 8.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр
Глава I. Виды и конструкции крепи, применяемые на пластовых месторождениях Грузии	5
Глава II. Анализ различных конструкций крепей по факторам, определяющим рациональность типа горной крепи	14
Глава III. Сборные железобетонные крепи горизонтальных горных выработок	25
Глава IV. Новые виды сборных железобетонных крепей	40
Глава V. Опыт промышленного применения новых видов железобетонных крепей	80
Литература	95

Мераб Николаевич Махарадзе

Сборная железобетонная крепь для горизонтальных выработок

Ответственный редактор Ю. Н. Граблин

Ведущий редактор Э. Е. Нснагладова

Технические редакторы Е. А. Ермакова, Т. Г. Прокуда

Корректор Н. А. Соколова

Подписано к набору 8/IV 1966 г.

Подписано к печати 16/VII 1966 г.

Формат 60×90¹/₁₆.

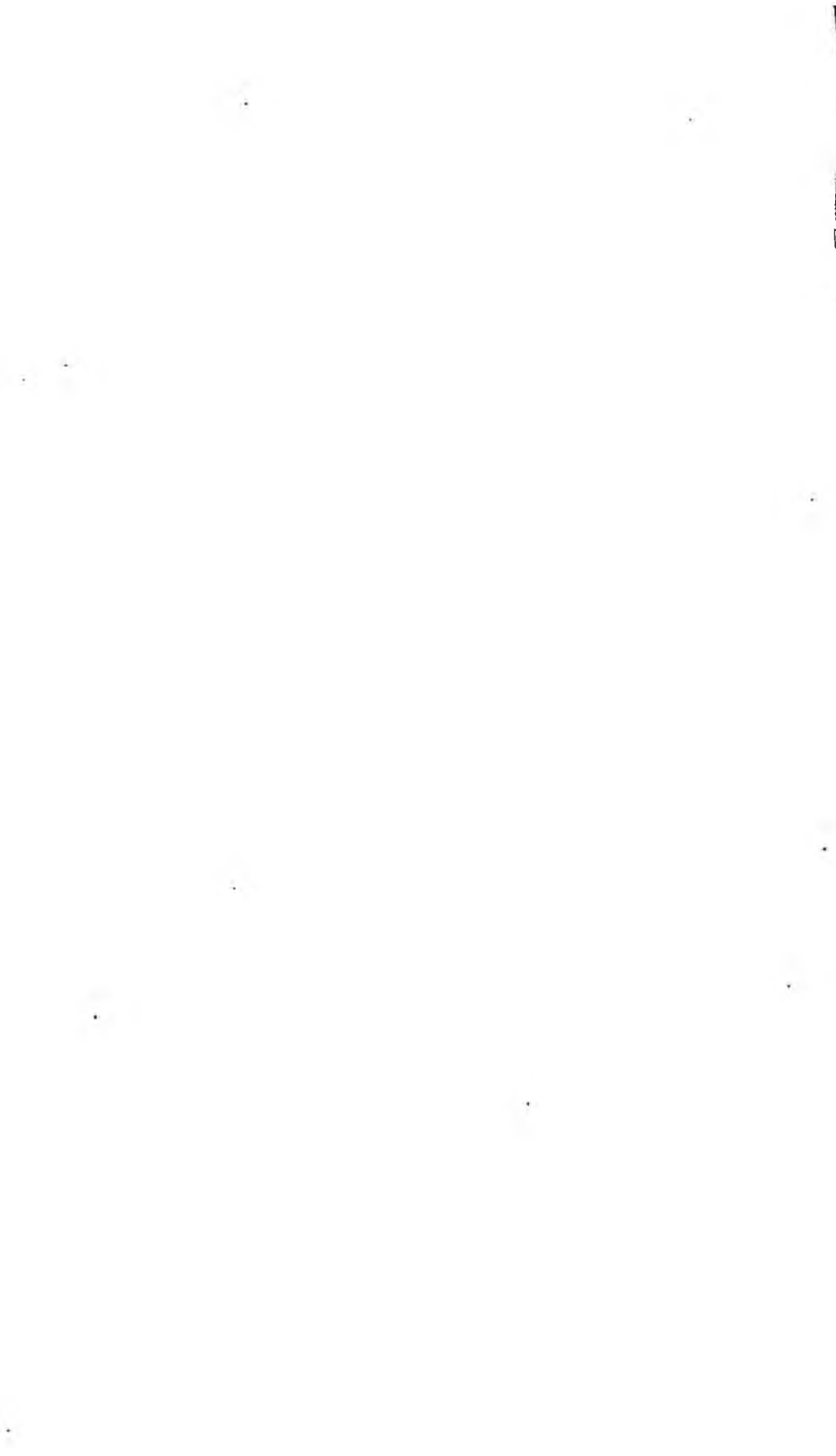
Печ. л. 9 с 3 вкл.

Уч.-изд. л. 7,1

Т-10250. Тираж 2900 экз. Зак. 2102/1645-9. Цена 38 коп. Бумага № 1. Индекс 1-3-1

Издательство «Недра». Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

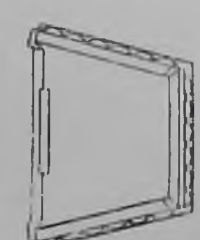
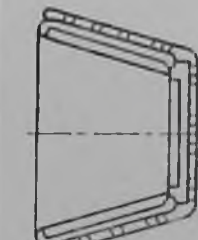
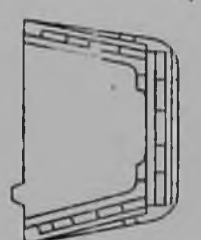
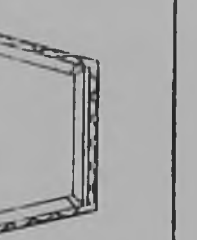
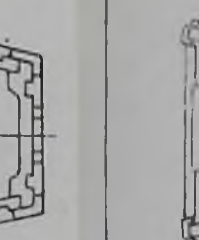
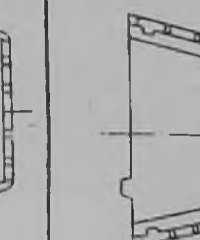
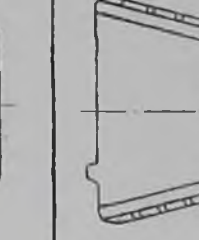
Великолукская городская типография Псковского областного управления
по печати, г. Великие Луки, Половская, 13



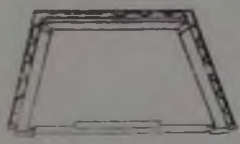
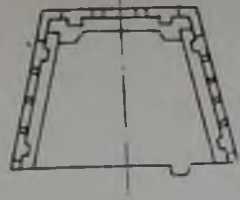
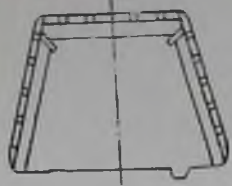
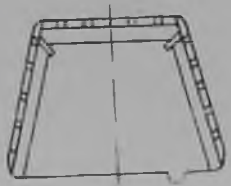
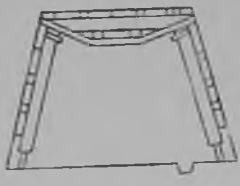
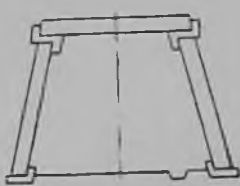
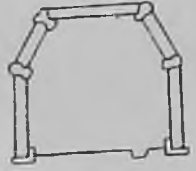
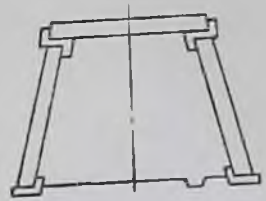
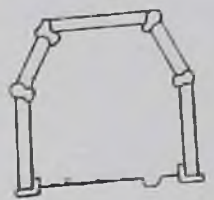
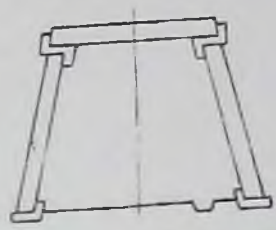
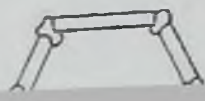
Цена 38 коп

13
11250

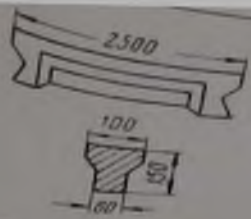
Приложение

Исходные данные, характеризующие сборные железобетонные крени	Основные данные, характеризующие сборные железобетонные крени										Сведения о проектировании крени (по состоянию на 1.1.1961 г.)	Примечание
	Координаты крени, т.е. координаты крени, т.е.	Назначение крени и его размеры	Число типов крени	Число элементов на 1 м выработки	Максимальный вес элементов крени, кг	Расход бетона, м ³	Расход арматуры, кг	Марка бетона, кг/м ³	Сложность изготовления крени			
Укрепление склонов, бетонная крени	1		4	5	109	0,348	105	400	Сложная, требующая специальных заводских	Проект	1,5-2 рамы на 1 м выработки	
ВНПД, железобетонная крени	2		3	3	115	0,415	86	400	Несложная, можно изготовить на полигонах	Рекомендована к применению	1,5-2 рамы на 1 м выработки	
ВНПД, железобетонная крени	3		10	3	От 180 до 420	От 0,53 до 0,62	От 91 до 106	200	То же	В Донецком и Карагандинском бассейнах	1,1 рамы на 1 м выработки	
Центрированная крени, бетонная крени	4		1	3	72	0,32	60	500	Сложная, опытная	Опытное	1 рама на 1 м выработки	
Крени, бетонная крени	5		1	3	175	0,6	108	200	Несложная	В Карагандинском бассейне	1,5 рамы на 1 м выработки	
ВНПД, железобетонная крени	6		2	3	132,5	0,504	108	400	Сложная на действующих заводах	Опытное проектирование на шахтах Донецкого и Луганского бассейнов	1-1,5 рамы на 1 м выработки	
ВНПД, железобетонная крени	7		2	3	132,5	0,504	108	400	То же	То же	То же	
ВНПД, железобетонная крени	8		1	3	142	0,5	125	400	Сложная, малоприменимая, требующая специальных	Не имеет широкого распространения	1,5-2 рамы на 1 м выработки	

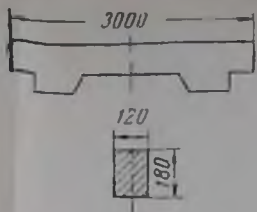
Рамная с затяжками

Многопустотные железобетонные рамы, усиленные арматурой	Технические	Верхняя часть рамы усилена арматурой			4	$f=3 \div 6$ 1,6—1,8
Кузнечно-штамповый, рамная железобетонная крепь	Прямоугольное	Верхняя с разгружающими консолями, стойки прямоугольного сечения, затяжки распорные	Однопутевая		5	$f=3 \div 6$ 2—2,2
ПД СССР, рамная крепь из пустотелых элементов	Прямоугольное	Верхняя и затяжки предварительно напряженные	Однопутевая		6	$f=3 \div 9$ 2,5—3
ПД СССР, рамная крепь из пустотелых элементов — податливая	Прямоугольное	Верхняя предварительно напряженная, стойки с деревянными пробками	Однопутевая		7	$f=3 \div 9$ 2,5—3
ВМГН, рамная податливая крепь из железобетонных трубчатых элементов	Кольцевое	Верхняя напряженная, стойки податливые с деревянными пробками	Однопутевая		8	$f=3 \div 9$ 2,5—3
Центроинвентарно-штамповый, крепь ЦПК-2	Прямоугольное, пустотелое	Гладкие плиты соединяются с помощью вкладышей Z-образного типа и ХВШ	Однопутевая		9	$f=3$ и выше 1,8
Центроинвентарно-штамповый, крепь ЦПКН-2	Угловое, пустотелое	Элементы многопустотные, гладкие, предварительно армированные	Двухпутевая		10	$f=3$ и выше 2,5
			Однопутевая		11	$f=3$ 1,8
			Двухпутевая		12	$f=3$ 2,5
			Однопутевая		13	$f=3 \div 9$ 1,8
ЦПКН-2, Подземная крепь НАП	Прямоугольное, пустотелое	Элементы предварительно армированные многопустотные	Двухпутевая		14	$f=3 \div 9$ 2,5

Рамная сплошная — без затяжек



1	3	72	0,32	60	500
---	---	----	------	----	-----

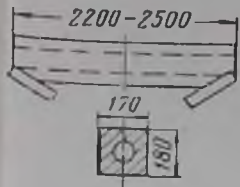


1	3	175	0,8	108	200
---	---	-----	-----	-----	-----

Несложная

В Карагандинском бассейне

1,5 рамы на 1 м выработки

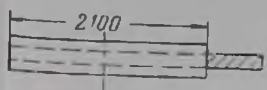


2	3	132,5	0,50	108	400
---	---	-------	------	-----	-----

Освоена на действующих заводах

Опытное применение на шахтах Донецкого и Луганского бассейнов

1—1,5 рамы на 1 м выработки

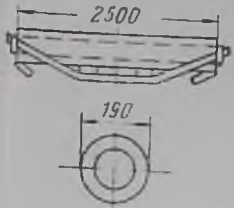


2	3	132,5	0,504	108	400
---	---	-------	-------	-----	-----

То же

То же

То же

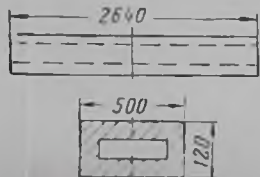


1	3	142	0,5	125	400
---	---	-----	-----	-----	-----

Сложная, мало-производительная, требующая специализированных заводов

Не нашла широкого распространения

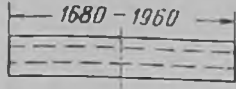
1,5—2 рамы на 1 м выработки



4	10	200	0,51	55,24	400
---	----	-----	------	-------	-----

Изготавливается на заводах, оборудованных бетонными комбайнами для производства пустотелых изделий

Не нашла широкого применения



5	16	143	0,65	77,04	
---	----	-----	------	-------	--



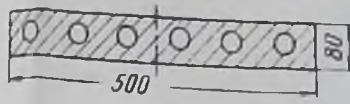
Сечение плиты

4	10	288	0,74	21,3	400
---	----	-----	------	------	-----

Более сложная, чем ППК-2

Проект

5	16	215	0,92	29,2	
---	----	-----	------	------	--



Сечение плиты

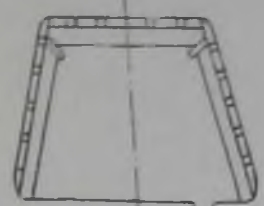
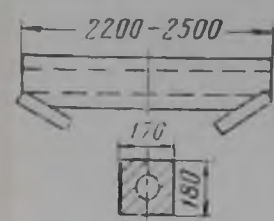
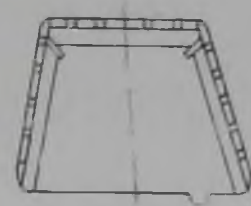
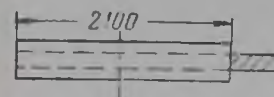
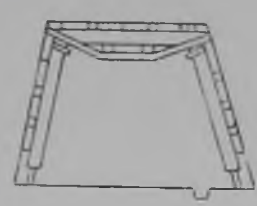
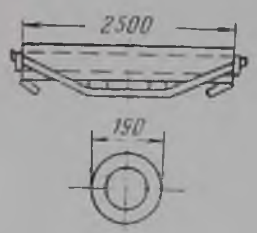
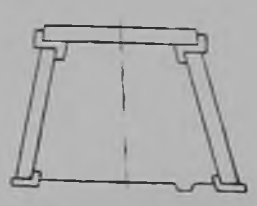
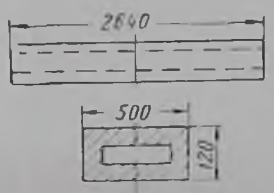
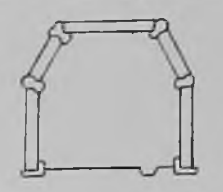
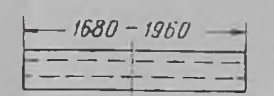
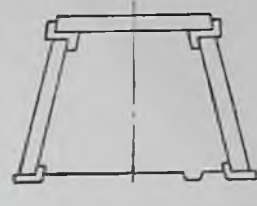
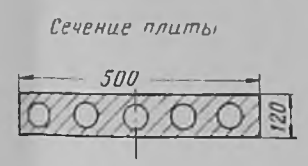
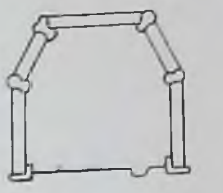
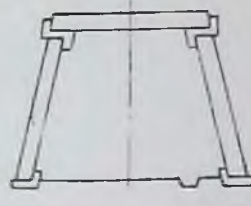
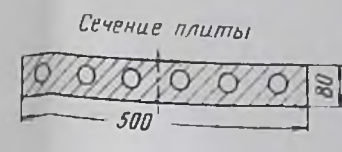
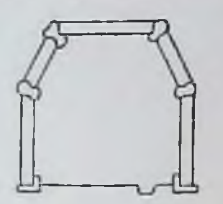
4	10	170	0,46	21,8	300
---	----	-----	------	------	-----

Сложная, мало-производительная

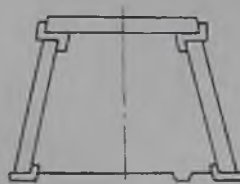
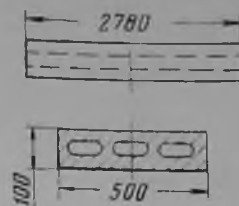
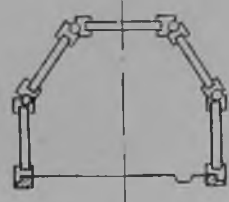
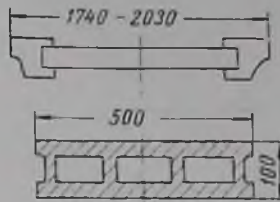
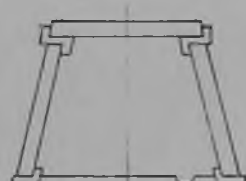
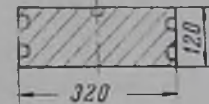
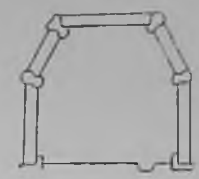
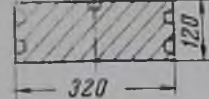
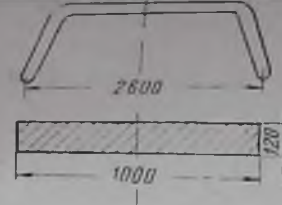
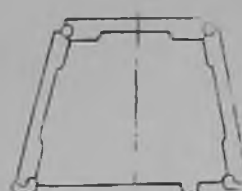
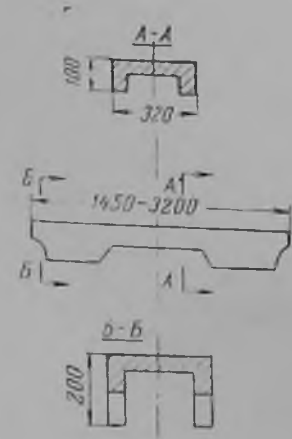
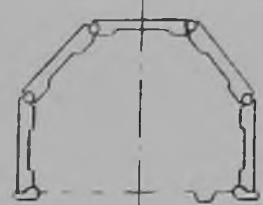
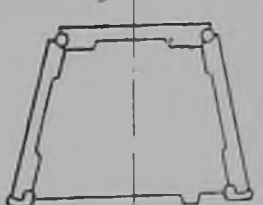
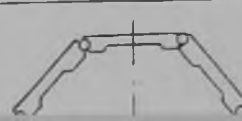
Проект

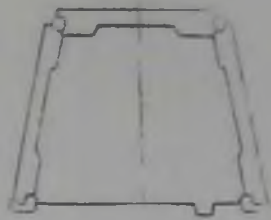
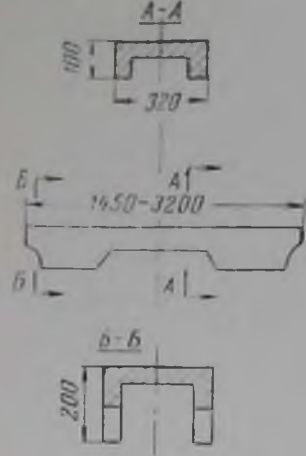
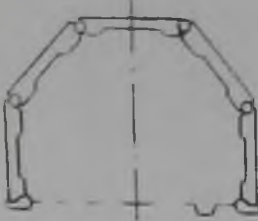
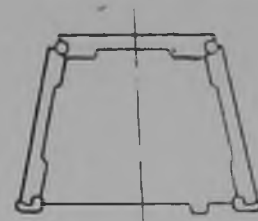
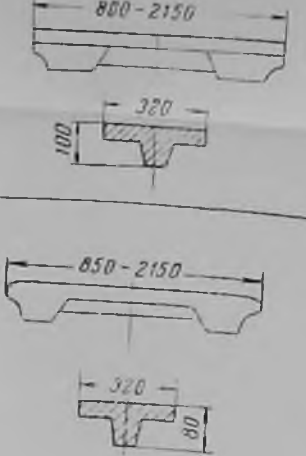
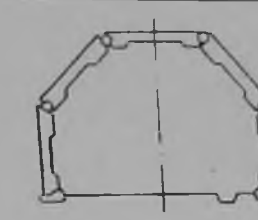
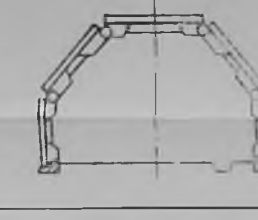
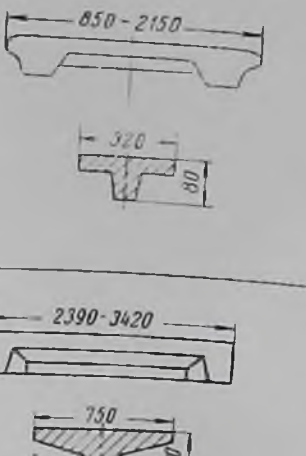
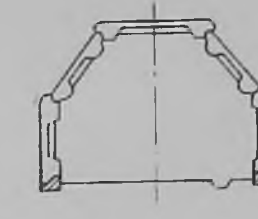
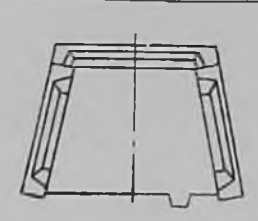
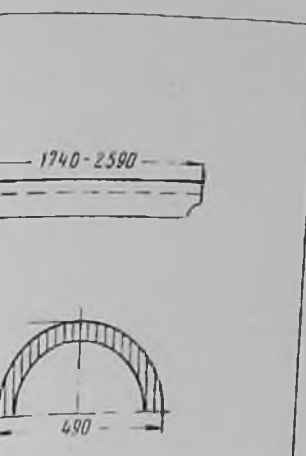
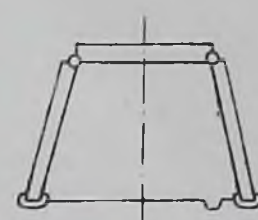
5	16	135	0,67	36,82	
---	----	-----	------	-------	--

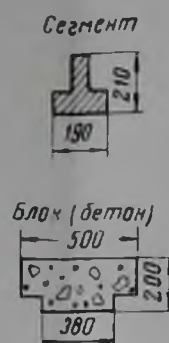
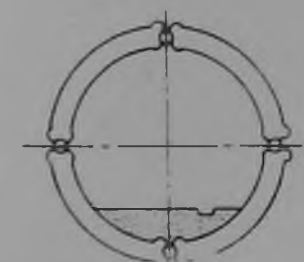
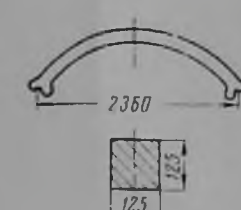
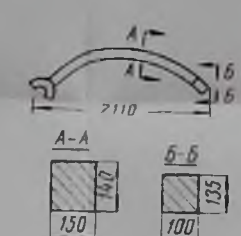
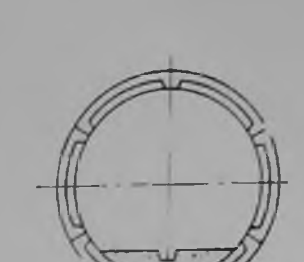
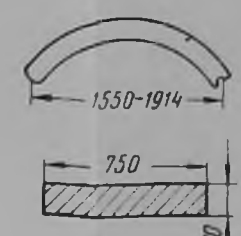
Рамки элементов — нарисованы

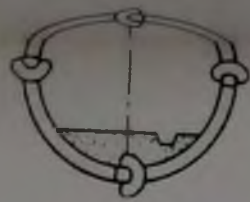
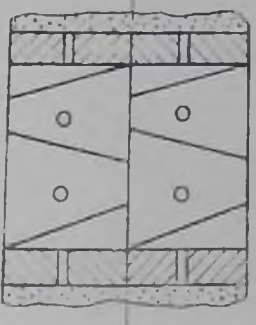
		ния, затяжки рас- порные																
ИГД СССР	АН	Прямо- угольное	Верхняя и за- тяжки предвари- тельно напряжен- ные	Однопутевая		6	$f=3\div9$ 2,5—3		2	3	132,5	0,501	108	400	Освоена на дей- ствующих заводах	Опытное при- менение на шах- тах Донецкого и Луганского бассейнов	1—1 1 м в	
ИГД СССР	АН	Прямо- угольное	Верхняя пред- варительно напря- женная, стойки с деревянными проб- ками	Однопутевая		7	$f=3\div9$ 2,5—3		2	3	132,5	0,504	108	400	То же	То же	То	
ВУТИ	рам- ная податливая крепь из желе- зобетонных гру- бчатых элемен- тов	Кольцевое	Верхняя напря- женная, стойки по- датливые с дере- вянными пробками	Однопутевая		8	$f=3\div9$ 2,5—3		1	3	142	0,5	125	400	Сложная, мало- производительная, требующая спе- циализированных заводов	Не нашла широкого рас- пространения	1,5—2 ра. 1 м выработ	
Центрош- ропаштострой, крепь ППК-2	Прямо- угольное, пу- стотелое	Гладкие плиты соединяются с по- мощью накладной з-образной типа П ЛВШ	Однопутевая		9	$f=3$ и выше 1,8		4	10	200	0,51	55,24	400	Изготавливается на заводах, оборудо- ванных бетониро- вочными комбайнами для производства пустотелых изде- лий	Не нашла широкого при- менения			
			Двухпутевая		10	$f=3$ и выше 2,5		5	16	143	0,65	77,04						
Центрош- ропаштострой, крепь ППКН-2	Угловое, пу- стотелое	Элементы много- пустотные, глад- кие, напряженно армированные	Однопутевая		11	$f=3$ 1,8		4	10	288	0,74	21,3	400	Более сложная, чем ППК-2	Проект			
			Двухпутевая		12	$f=3$ 2,5		5	16	215	0,92	29,2						
ЦНИИПод- земныхтострой, крепь ПАП	Прямо- угольное, пу- стотелое	Элементы напря- женно армиро- ванные, многопусто- телые	Однопутевая		13	$f=3\div9$ 1,8		4	10	170	0,46	21,8	300	Сложная, мало- производительная	Проект			
			Двухпутевая		14	$f=3\div9$ 2,5		5	16	135	0,67	36,82						

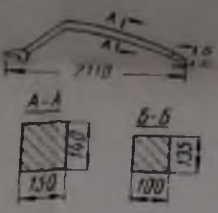
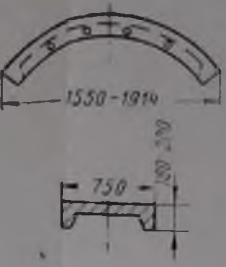
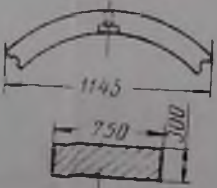
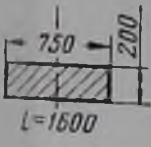
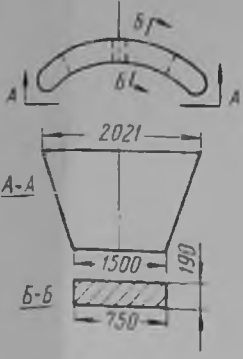
Рамная сплошная — панельная

Конструктивная крепь	Вид разработанных крепей	Сечение основного несущего элемента	Конструктивная характеристика крепи	Вид горной выработки	Схема поперечного сечения выработки с крепью	Коэффициент крепости f и несущая способность крепи, $\Gamma/\text{м}^2$	Основные данные, характеризующие сборные железобетонные крепи							Технология изготовления крепи	Сведения о применении крепи (по состоянию на 1.1. 1964 г.)	Примечание			
							Вид основного несущего элемента и его размеры	Число типовых размеров крепи	Число элементов на 1 м выработки	Максимальная масса элемента крепи, кг	Расход материала на 1 м выработки		Масса бетона, кг/м ²						
											бетон, м ³	арматура, кг							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
ВНИИОМШС, крепь УПП	Прямоугольное, пустотелое	Универсальная плоская плита из напряженного железобетона, отличается соединительными вкладышами	Однопутевая	15		$f=3$ 1,9		4	8	230	0,52	33,5	500	Сложная	Проект	—			
			Двухпутевая	16		$f=3$ 3		5	16	182	0,8	96							
Центрогиростахтострой, крепь из плит ПБКМ	Прямоугольное	Элементы прессбетонной крепи напряженные гладкие; напряженная арматура наматывается снаружи	Однопутевая	17		$f=3$ 1,9		4	13	268	0,95	20,1	300	Изготавливается на прессбетонной установке	Проект	—			
			Двухпутевая	18		$f=3$ 2,25		5	21	202	1,14	31,8							
Гипроцветмет, сборная безреберная крепь ВСВ-2	Прямоугольное	Элементы гладкие, состоят из П-образного верхника и двух стоек	Однопутевая	19		$f=3$ 2		2	5	1000	0,66	67,2	260	Изготавливается в полигональных условиях	Проект				
ВНИИОМШС, крепь УРП-П	Коробчатое	Универсальные ребристые плиты соединяются с помощью железобетонных цилиндрических вкладышей	Однопутевая	20		$f=4-10$ 1,9		5	13	202	0,66	141	200	Нетехнологична и непроизводительна	В Донецком, Кузнецком и Карагандинском бассейнах	Снята с производства			
			Двухпутевая	21		$f=4-10$ 2,5		6	21	114	0,76	144,9							
Донецкшахтострой, крепь УРПС	Коробчатое	Универсальные ребристые плиты из напряженного железобетона	Однопутевая	22		$f=4$ 1,9		5	13	135	0,523	42,87	400	Производство не освоено	Проект				
			Двухпутевая	23		$f=3$ 3		5	21	97,5	0,597	61,38							

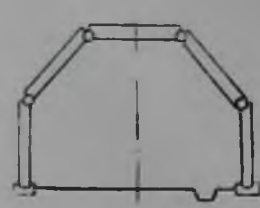
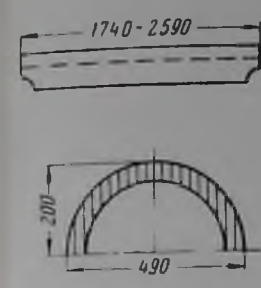
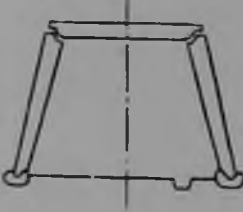
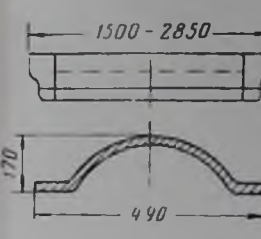
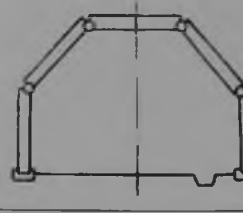
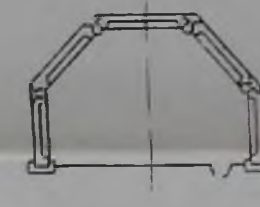
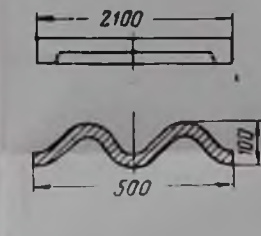
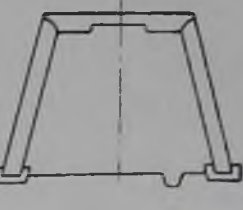
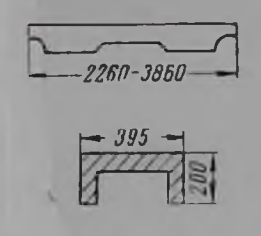
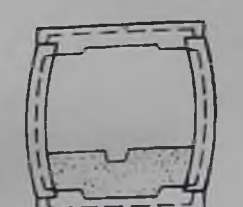
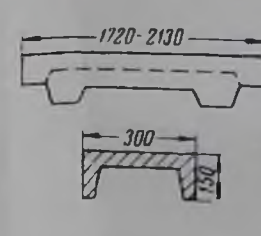
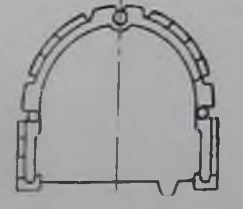
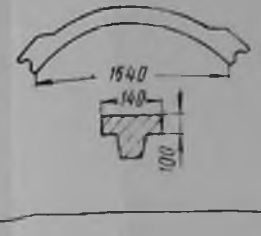
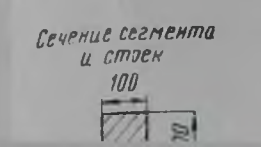
ВНИИОМШС, креп. УРП-П	Коробчатое	Универсальные ребристые плиты соединяются с по- мощью железобе- тонных поликар- боновых вкладышей	Однопутевая		20	$f=4-10$ 1,9		5	13	202	0,66	141	200	Нетехнологична и непроектируема	В Донецком, Кузнецком и Карагандин- ском бассейнах	С водо
			Двухпутевая		21	$f=4-10$ 2,5		6	21	114	0,76	144,9				
Донецкшах- тострой, креп. УРПС	Коробчатое	Универсальные ребристые плиты из напряженного железобетона	Однопутевая		22	$f=4$ 1,9		5	13	135	0,523	42,87	400	Производство не освоено	Проект	
			Двухпутевая		23	$f=3$ 3		5	21	97,5	0,597	61,38				
ВНИИОМШС, креп. УРПМ	Тавровое	Опорные части элементов сплош- ные, соединяемые с помощью желе- зобетонных вкла- дышей	Однопутевая и двухпуте- вая		24	$f=3-9$ 2-3,1		10	21	107	От 0,510 до 0,674	От 95,1 до 126,3	300	Простая произ- водительная	Принята к промышленно- му внедрению в Донбассе	
ВНИИОМШС, креп. УТЭ	Тавровое	Универсальные тавровые elemen- ты соединяются без вкладышей	Однопутевая и двухпуте- вая		25	$f=3-9$ 2,4-3,1		10	17	135	От 0,54 до 0,69	От 65,1 до 100,7	300	То же	Внедряется в Донбассе	
Центрогиро- шахт, сборные панели	Тавровое	Верхняя и стой- ка таврового сече- ния, соединение жесткое	Однопутевая и двухпуте- вая		26	$f=3$ и выше 1,8-3,2		3	3	От 320 до 830	От 0,58 до 0,77	От 46 до 100,8	300	Производитель- ная	Проходит опытные испы- тание в Донец- ком бассейне	В графе 10 дае- тся число элемен- тов на 0,75 м выра- ботки
ВНИИОМШС, креп. УЭСК	Скорлупное	Элементы уни- версальной скор- лупной крепи изго- товляются методом центрифугирова- ния без торцовых диафрагм	Однопутевая		27	$f=4$ 1,9		10	10	153	0,398	72,1	400	Сложная, тре- бующая специа- лизированных заво- дов	Проведено опытное креп- ление в Дон- бассе	

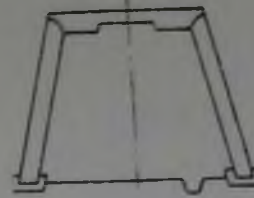
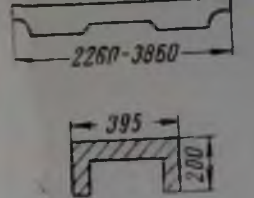
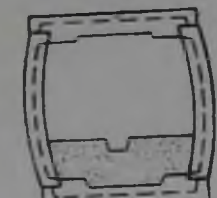
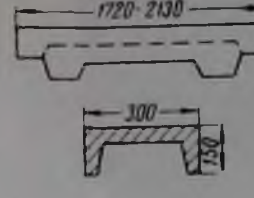
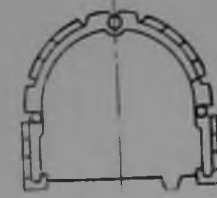
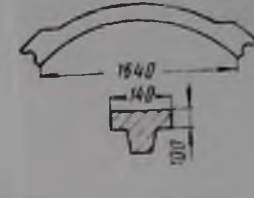
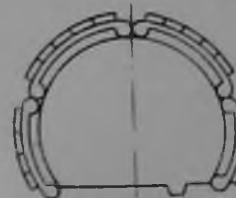
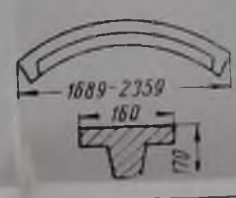
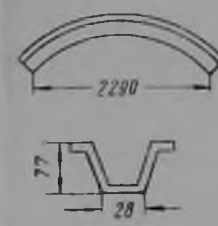
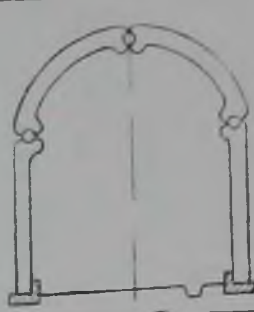
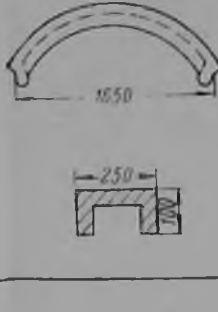
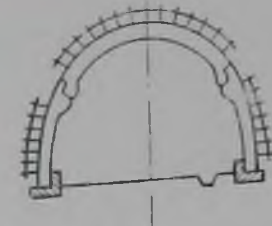
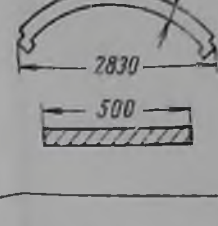
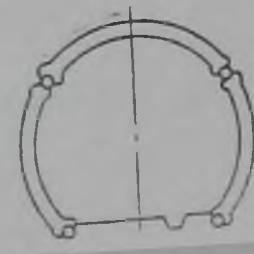
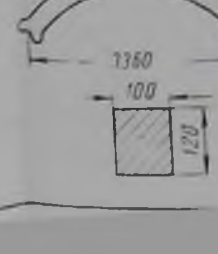
Классификация крепи	Классификация крепи по способу изготовления	Сечение основного несущего элемента	Конструктивная характеристика крепи	Вид горной выработки	Схема поперечного сечения выработки с крепью	Основные данные, характеризующие сборные железобетонные крепи									Технология изготовления крепи	Сведения о применении крепи (по состоянию на 1.1. 1964 г.)	Примечание
						Коэффициент крепости f и несущая способность крепи, $T, \text{м}^2$	Вид основного несущего элемента и его размеры	Число типовых размеров крепи	Число элементов на 1 м выработки	Максимальный вес элементов крепи, кг	Расход материала на 1 м выработки		Марка бетона, кг/м ³				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	бетон, м ³	арматура, кг		14	15	16	17
Кольцевая с затаской	Шахтостроитель, кольцевая равно-блочная крепь	табурное	Крепь 6-сегментная, соединяется накладками и деревянными прокладками; затяжки бетонные	однопутевая		51 $f=1\frac{1}{2}$ 30—35		1	9	73,8	1,76	58,4	300	Сложная и весьма трудоемкая	Проект	1,5 кольца на 1 м выработки	
	ВНИИОМШС, сплошная кольцевая крепь	прямо-угольное	Элементы соединяются железобетонными вкладышами	однопутевая		52 $f=2\frac{2}{3}$ 10—12		2	36	88	1,2	358	200	Относительно несложная	Не нашла широкого применения		
	НИИ ГИ, железобетонная кольцевая крепь ЖКУ-1	прямо-угольное	Крепь собирается без вкладышей; между кольцами устанавливается отверстие	однопутевая		53 $f=1$ 30—40		2	20	80	От 0,6 до 0,89	От 165 до 245	300	Относительно несложная	Опытное применение на «Никопольмарганец»		
	Центрогидрошахт, тубинговая кольцевая крепь	коробчатое	Тюбины тонкостенные, соединяются вдоль выработки болтами	однопутевая и двухпутевая		54 $f=2\frac{2}{3}$ 7,5		5	6—8	От 262 до 380	От 0,84 до 1,52	От 189,8 до 301,2	300	Сравнительно сложная, можно изготовить на железобетонных заводах	Проект	В графе 10 дается число элементов на 0,75 м выработки	
	Центрогидрошахт, блочная кольцевая крепь	прямо-угольное	Блоки гладкие, соединение шарнирное	однопутевая		55 $f=1$ 50		5	6—8	От 645 до 1170	От 2,06 до 4,61	От 243,2 до 520,5	300	Сравнительно сложная, малопродуктивная	Проект	То же	
Шахтостроитель, блочная кольцевая крепь	прямо-угольное	Блоки гладкие, соединяются деревянными шпильками; укладываемые в торцовые ка-	однопутевая		56 $f=0,8-1$ 30—40		1	8	574	3,1	348,5	170	Сравнительно сложная	Применяется на шахтах Мосбасса			

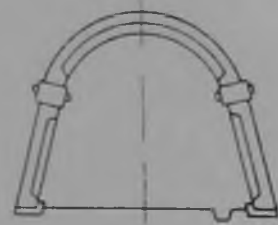
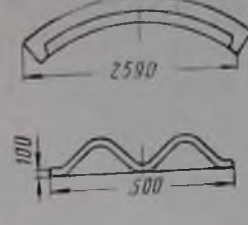
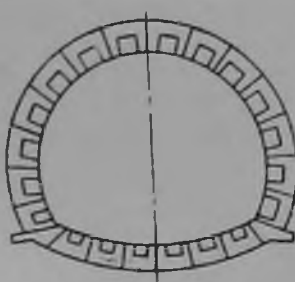
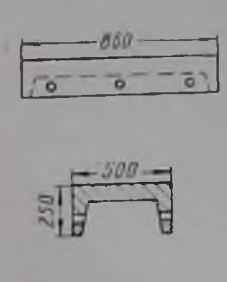
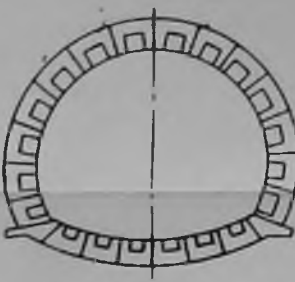
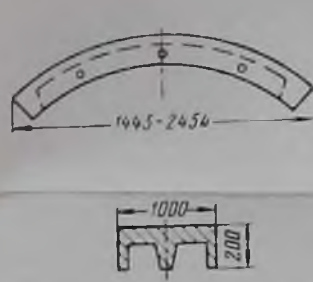
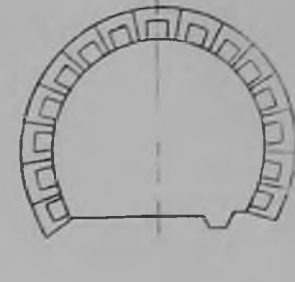
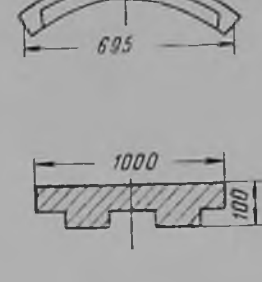
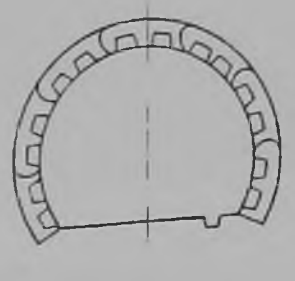
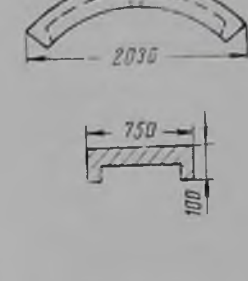
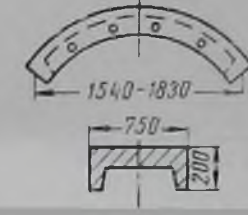
		стие			53	$f=1$ 30—40
Центрогир-рошафт, тубин-говая кольце-вая крепь	коробчатое	Тюбинги тонко-стенные соеди-няются вдоль вы-работки болтами	однопутевая и двухпуте-вая		54	$f=2\frac{2}{3}$ 7,5
Центрогир-рошафт, блоч-ная кольцевая крепь	прямо-угольное	Блоки гладкие, соединение шар-нирное	однопутевая и двухпуте-вая		55	$f=1$ 50
Шахтспец-строй, блочная кольцевая же-лезобетонная крепь	прямо-угольное	Блоки гладкие, соединяются дере-вянными шпилька-ми, укладываемы-ми в торцовые ка-навки	однопутевая		56	$f=0,8-1$ 30—40
Шахтспец-строй, блочная кольцевая крепь (облегченная)	прямо-угольное	Блоки соединя-ются деревянными шпильками, укла-дываемыми в тор-цовые канавки	однопутевая и двухпуте-вая		57	$f=1$ 30—40
ВНИИОМШС тубинговая крепь для шн-товой проходки	прямо-угольное	Блоки в плане трапециевидного очертания, кольцо собирается из 5 одинаковых бло-ков и замыкается замковым блоком	двухпутевая (суженная)		58	$f=1$ 25—30

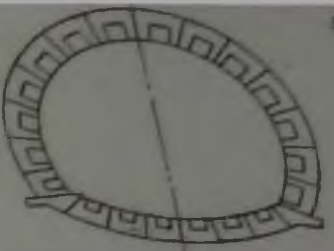
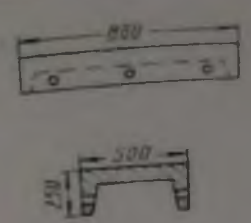
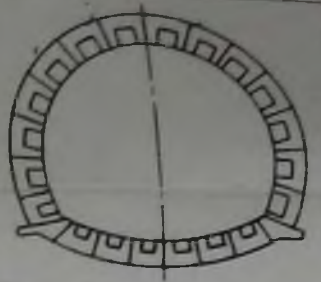
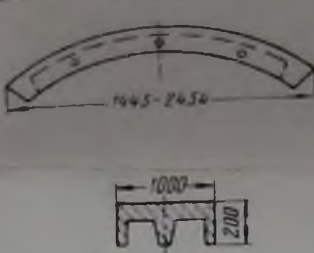
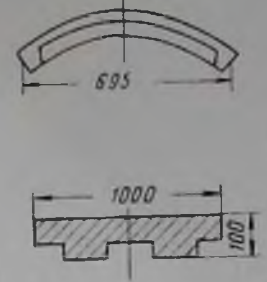
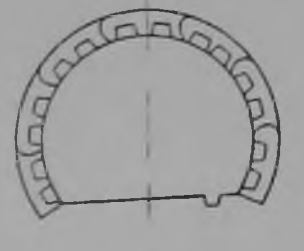
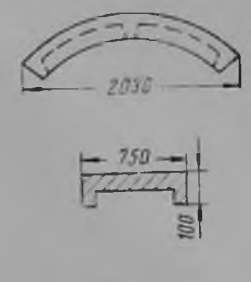
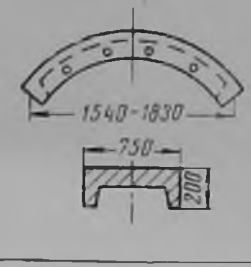
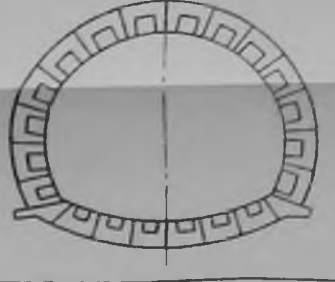
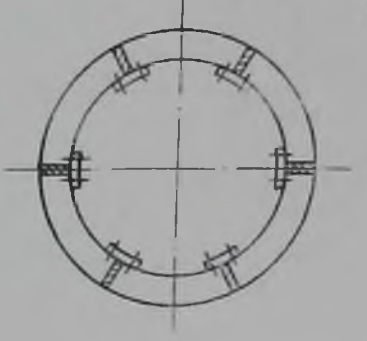
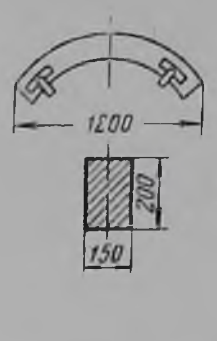
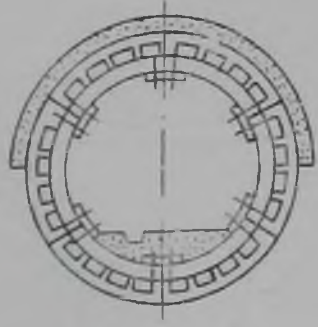
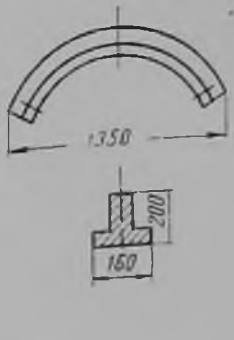
	2	20	80	От 0,6 до 0,80	От 165 до 275	300	Относительно не сложная	Опытное применение на «Никопольмарганец»	
	5	6-8	От 262 до 380	От 0,84 до 1,52	От 189,8 до 301,2	300	Сравнительно сложная, можно изготовить на железобетонных заводах	Проект	В графе 10 даётся число элементов на 0,75 м работы
	5	6-8	От 645 до 1170	От 2,06 до 4,61	От 243,2 до 520,5	300	Сравнительно сложная, малопродуктивная	Проект	То же
	1	8	574	3,1	348,5	170	Сравнительно сложная	Применяется на шахтах Мосбасса	"
	1	6-8	650	2,13-2,84	216,1-328	250-300	Сравнительно сложная	Применяется на шахтах Мосбасса	В графе 10 даётся число элементов на 0,75 м работы
	2	6	800	2,04-2,6	164-196	200	То же	Проект	То же

Рамная сплошная — панельная

Основные данные, характеризующие сборные железобетонные крепи	Технология изготовления крепи	Сведения о применении крепи (по состоянию на 1. I. 1964 г.)	Примечание													
Конструктивная крепь	Как разработан проект и название крепи	Сечение основного несущего элемента	Конструктивная характеристика крепи	Вид горной выработки	Схема поперечного сечения выработки с крепью	Коэффициент крепости f и несущая способность крепи, T/m^2	Вид основного несущего элемента и его размеры	Число типовых размеров крепи	Число элементов на 1 м выработки	Максимальный вес элементов крепи, кг	Расход материала на 1 м выработки	Марка бетона, кг/м ³	15	16	17	
											бетон, м ³	арматура, кг				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
ВНИИОМШС, крепь УЭСК	скорлупное	скорлупное	Элементы универсальной скорлупной крепи изготавливаются методом центрифугирования без торцовых диафрагм	двухпутевая		28 $f=4$ 1,9			16	112	0,466	62,34	400	Сложная, требующая специализированных заводов	Проведено опытное крепление в Донбассе	
Караганда-гипрошахт, крепь УПК	сводчатое	сводчатое	Универсальная, пространственная крепь, изготавливается центрифугированием; элементы с торцовыми диафрагмами	однопутевая		29 $f=4$ 2,5			8	134	0,34	66,52	200	Сложная и трудоемкая, требующая специализированных заводов	Проведено опытное крепление в Карагандинском бассейне	
				двухпутевая		30 $f=4$ 2,5		8	16	102	0,46	83,52				
Центрогирошахтострой, армодементава панельная крепь	волнистое	волнистое	Тонкостенные волнистые оболочки, армированные сетками, соединяются на вкладышах	двухпутевая		31 $f=4$ 2,25		3	16	855	0,43	111,15	400	Не освоена	Проект	Разработана и для однопутевых выработок
Гипрошахта-крупнопанельная крепь	коробчатое	коробчатое	Верхняяк напряженно армированные, соединение шарнирное	однопутевая и двухпутевая		32 $f=3$ 1,9—2,5		2	11	От 150 до 330	От 0,47 до 0,663	От 30,6 до 51,37	Верхняяк 400, стойка 200	Сложная, требующая специализированных заводов	Проект	В графе 10 дается число элементов на 1,2 м выработки
Мосбассгипрошахт, бочкообразная крепь	коробчатое	коробчатое	Крепь состоит из двух прямолинейных и двух криволинейных элементов	однопутевая		33 $f=1,2$ 8—10		5	12	150	0,76—0,83	147,9 170,7	200	Несложная, освоена на Калужском и Тульском заводах	Промышленное на шахтах Мосбасса	В графе 10 дается число элементов на 0,9 м выработки
ВНИИОМШС, арочная шарнирная крепь	тавровое	тавровое	Сегменты таврового сечения, — стойки прямоугольного; соединение на деревянных прогонах	однопутевая		34 $f=3$ и выше 2,2		1	9	66	0,54	130	200	Сложная трудоемкая	Не получила промышленного применения	1 рама на 1 м выработки
Кузбассгипрошахт, арочная железобетонная крепь	прямоугольное	прямоугольное	Сегменты соединяются железобетонными вкладышами, а стойки без вкладышей; сечение сегмента и стойки	однопутевая		35 $f=3$ 2,25		1	5	62	0,53	125	300	Трудоемкая	Проект	1 рама на 1 м выработки

Гидрошахта-крупнопанельная крепь	коробчатое	Верхняя напряженно-армированная, шарнирное	однопутевая и двухпутевая		32	$f=3$ 1,9—2,5		2	11	От 150 до 330	От 0,47 до 0,663	От 30,6 до 51,37	Верхняя 400, стойка 200	Сложная, требующая специализированных заводов	Проект	В графе 10 дается число элементов на 1,2 м выработки
Мосбассгипрошахт, бочкообразная крепь	коробчатое	Креп. состоит из двух прямолинейных и двух криволинейных элементов	однопутевая		33	$f=1,2$ 8—10		5	12	150	0,76—0,83	147,9 до 170,7	200	Несложная, освоена на Калужском и Тульском заводах	Промышленное на шахтах Мосбасса	В графе 10 дается число элементов на 0,9 м выработки
ВНИИОМШС, арочная шарнирная крепь	тавровое	Сегменты таврового сечения, — стойки прямоуглового; соединение на деревянных прогонах	однопутевая		34	$f=3$ и выше 2,2		1	9	66	0,54	130	200	Сложная трудоемкая	Не получила промышленного применения	1 рама на 1 м выработки
Кузбассгипрошахт, прочная железобетонная крепь	прямоугловое	Сегменты соединяются железобетонными вкладышами, а стойки без вкладышей; сечение элементов с четвертинами для укладки затяжек	однопутевая		35	$f=3$ 2,25		1	5	62	0,53	125	300	Трудоемкая	Проект	1 рама на 1 м выработки
ИГД СССР, арочная шарнирная крепь	тавровое	Арка состоит из криволинейных элементов, соединенных болтами; установка механизированная	однопутевая и двухпутевая		36	$f=2-3$ 8—10		6	8	92	От 0,464 до 0,61	62,6 до 108,6	400	Освоена на Донском заводе железобетонных изделий	Промышленное применение в Донецком и Подмосковном бассейнах	1,5—2 рамы на 1 м выработки. Разработана замкнутая конструкция для пучащих пород
Центротрансшахтострой, арочная податливая армирующая крепь	желобчатое	Верхняя и стойки соединяются металлическими хомутами, затяжки армируемые или железобетонные	однопутевая		37	$f=3$ 1,8		2	10	16	0,26	86,7	400	Технология не освоена	Проект	2 рамы на 1 м выработки
НИИГН, сборная железобетонная арочная крепь	коробчатое	Состоит из двух сегментов и двух прямолинейных ножек; соединяются на вкладышах	однопутевая		38	$f=2-3$ 10—12		1	21	715	0,52	112	300	Малопродуктивная	Опытное применение на шахтах Кузбасса	
ВНИИОМШС (Кемаровский филиал), крепь-оболочка	прямоугловое	Оболочка из трех элементов, имеет выступы арматуры и сторону обнажения, после установки пространство бетонируется	однопутевая		39	$f=3$ и выше 1,7—2		1	8	169	1,14	99,23	300	Опытная	То же	
ВНИИОМШС, арочная сложная крепь	прямоугловое	Криволинейные элементы соединяются с железобетонными вкладышами	двухпутевая		40	$f=2-3$ 8—10		2	34	110	108	226	200	Несложная малопродуктивная	Опытное	

Конструк- ция крепи	Изм. разработ- ки проекта и название крепи	Состав основного несущего элемента	Конструктивная характеристика крепи	Наз. горной выработки	Схема поперечного сечения выработки с крепью	Основные данные, характеризующие сборные железобетонные крепи										Технология изгото- вления крепи	Система и при- менения крепи (по состоянию на 1.1. 1964 г.)	Примечание
						Коэффициент крепости f и несущая спо- собность крепи, T/m^2	Вид основного несущего элемента и его размеры	Число типо- размеров крепи	Число элемен- тов на 1 м выработки	Максимальный вес элемента крепи, кг	Расход мате- риала на 1 м выработки		Марка бетона					
											бетон, м ³	арма- тура, кг						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
Абсолютная сплошная — панельная (тюбинговая)	УкрНИИ- ОМШС, ароч- ная гладкая крепь АГК	Тавровое	Креп. панель- ная тонкостенная; собирается без вкладышей	Однопутевая		41 $f=3$ 4,6—13		12	17	От 65 до 127	От 0,493 до 0,595	От 76,4 до 85,6	300	Относительно сложная, малопро- изводительная	Рекомендо- вана к опытно- му применению			
	Центрогип- рошахтострой, арочная армо- цементная па- нельная крепь	Волнистое	Собирается из трех ребристых па- нелей, армирован- ных сетками	Однопутевая		42 $f=3$ 2,5		1	10	146	0,344	95,1	400	Технология не установлена	Проект			
Абсолютная сплошная — панельная (тюбинговая)	УкрНИИ- ОМШС, крепь из мелкоразмер- ных тюбингов МТ	Коробчатое	Тюбинги МТ и Т соединяются бол- тами, разработана также кольцевая конструкция	Двухпутевая		43 $f=1-2$ 30—40		3	40	170	2,59— 3,04	2,38— 2,78	300	Сложная и весь- ма трудоемкая	Проект	Возведение ме- ханизированное		
	УкрНИИ- ОМШС, крепь из крупнораз- мерных тюбин- гов Т	Коробчатое		Двухпутевая		44 $f=1-2$ 30—40		7	22	725	2,3— 2,7	225— 290	300	То же	Проект			
	Донецгип- рошахт, крепь из мелкоразмер- ных железобе- тонных тюбин- гов	Коробчатое	Тюбинги тонко- стенные, ребристые, напряженно арми- рованные, соеди- няются болтами	Двухпутевая		45 $f=3$ и выше 2,9		3	18	104	0,6	69,6	400	Сложная	Проект	Разработана конструкция коль- цевой крепи		
	Кузбассгип- рошахт, крупно- панельная тю- бинговая крепь	Коробчатое	Тюбинг — круп- нопанельная тон- костенная оболоч- ка	Двухпутевая		46 $f=3$ 2,9		1	5	275	0,74	89,3	300	Относительно сложная, малопро- изводительная	Проект	В графе 10 дае- тся число элемен- тов на 0,75 м вы- работки		
	КузНИИшах- тострой, желе- зобетонные об- легченные тю- бинги	Коробчатое	Тюбинги тонко- стенные, соеди- няются с помощью болтов	Двухпутевая		47 $f=3-9$ 3,2—3,8		5	7	105— 171	0,74— 0,78	124— 150,5	300	Несложная, ос- воена на полиго- нах	Применяется на шахтах Куз- нецкого бассей- на	В графе 10 дае- тся число элемен- тов на 0,75 м вы- работки		

Арсенал сплошная — панельная (тибинговая)	Креп. из мелкогабаритных тибингов МТ	Соединяются там, разработана также кольцевая конструкция			43	$f=1-2$ 30—40		3	40	170	2,59—3,04	2,34—2,78	300	Сложная и весьма трудоемкая	Проект	Возведение канализации	
	УкрНИИ-ОМШС, креп. из крупногабаритных тибингов Т	Коробчатое	Двухпутевая		44	$f=1-2$ 30—40		7	22	725	2,3—2,7	2,25—2,60	300	То же	Проект		
	Донецктимрощафт, креп. из мелкогабаритных железобетонных тибингов	Коробчатое	Тибинги тонкостенные, ребристые, напряжены армированными, соединяются болтами	Двухпутевая		45	$f=3$ и выше 2,9		3	18	104	0,6	69,6	400	Сложная	Проект	Разработана конструкция кольцевой крепи
	Кузбасстипрощафт, крупнопанельная тибинговая крепь	Коробчатое	Тибинг — крупнопанельная тонкостенная оболочка	Двухпутевая		46	$f=3$ 2,9		1	5	275	0,74	89,3	300	Относительно сложная малопродуктивная	Проект	В графе 10 дается число элементов на 0,75 м выработки
	КузНИИшахтострой, железобетонные облегченные тибинги	Коробчатое	Тибинги тонкостенные, соединяются с помощью болтов	Двухпутевая		47	$f=3-9$ 3,2—3,8		5	7	105—171	0,74—0,78	124—150,5	300	Несложная, освоена на полигонах	Применяется на шахтах Кузнецкого бассейна	В графе 10 дается число элементов на 0,75 м выработки
Кольцевая с затяжками	Центрогипрощафтострой, крепь СТК (облегченная)	Коробчатое	Тибинги СТК соединяются болтами; разработана также кольцевая конструкция	Двухпутевая		48	$f=3-4$ 3—4		1	6	275	0,86	74,1	500	Относительно сложная	Проект	В графе 10 дается число элементов на 0,87 м выработки
	Сборная железобетонная крепь Нелидовского месторождения	Прямоугольное	Крепь состоит из 6 сегментов, которые соединяются накладками и деревянными прокладками	Однопутевая		49	$f=1-2$ 30—40		1	18	60	0,75	129,6	200	Несложная, производительная	Опытное применение в Мосбассе	3 кольца на 1 м выработки
	Шахтспецстрой, кольцевая рамная крепь	Тавровое	Крепь 6-сегментная, соединение накладками и деревянными прокладками; пространство между кольцами закладывается железобетонными затяжками	Однопутевая		50	$f=1-2$ 25—30		1	12	76	0,86	163	300	То же	Проект	2 кольца на 1 м выработки