Министерство угольной промышленности СССР

Производственно-техническое управление по строительству

Научно-исследовательский институт строительства
угольных и горнорудных предприятий
(Кузнишахтострой)

И Н С Т Р У К Ц И Я

ПО ПРИМЕНЕНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ КОНСТРУКЦИИ КУЗНИИШАХТОСТРОЯ (АМК)

Кемерово - 1980

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР

Производственно-техническое управление по строительству

Научно-исследовательский институт строительства
угольных и горнорудных предприятий
(Кузниишахтострой)

Согласовано

Начальником Всесоюзного
объединения "Союзшахтопроект"
Е.В. Стрельцовым
18.09.80 г.

Утверждено

Первым заместителем Министра
угольной промышленности СССР
В.В. Белым
18.09.80 г.

Согласовано

И.о. начальника Производственного управления по строительству Ю.И. Куйковым
18.09.80 г.

Согласовано

Начальником Всесоюзного объединения "Союзшахтострой"
Н.И. Алехиным
18.09.80 г.

И Н С Т Р У К Ц И Я

ПО ПРИМЕНЕНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ КОНСТРУКЦИИ КУЗНИИШАХТОСТРОЯ (АМК)

Кемерово - 1980

А Н Н О Т А Ц И Я

Инструкция является результатом выполнения работ по головной отраслевой теме I504 "Разработать и внедрить новые прогрессивные решения в области крепления капитальных горных выработок, обеспечивающие комплексную механизацию горнопроходческих работ" (Руководитель темы канд.техн.наук Стрельцов Е.В.).

В настоящей инструкции приведены основные указания по применению комбинированной анкер-металлической крепи АМК, разработанной институтом "Кузнишахтострой".

Инструкция содержит описание конструкции крепи, технологии ее возведения, условия и область применения.

Приведены методика и примеры расчета анкер-металлической крепи.

Инструкция предназначена для инженерно-технических работников проектных организаций, угольных предприятий, научно-исследовательских и учебных институтов.

Соблюдение требований настоящей инструкции обязательно для всех организаций Минуглепрома СССР, применяющих комбинированную анкер-металлическую крепь (АМК) конструкции Кузнишахтостроя.

В разработке инструкции принимали участие кандидаты технических наук Ерофеев Л.М., Мирошникова Л.А., горный инженер Шитенберг В.М.

Методика расчета крепи и условия ее применения разработаны кандидатами технических наук Ерофеевым Л.М., Мирошниковой Л.А.

© Кузнишахтострой, I980

О Г Л А В Л Е Н И Е

ОБОЗНАЧЕНИЯ 4

1. КОНСТРУКЦИЯ КРЕПИ 7

2. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕПИ I4

3. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ УСТАНОВКЕ КРЕПИ I4

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ I8

5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ 42

6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ 50

7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКЕ КРЕПИ 5I

ЛИТЕРАТУРА 52

ПРИЛОЖЕНИЯ 55

О Б О З Н А Ч Е Н И Я

n – коэффициент устойчивости выработки;

$R_{ср}$ – средневзвешенный предел прочности горных пород в массиве на сжатие, тс/м^2;

γ – средний объемный вес горных пород, тс/м^2;

H – глубина заложения выработки, м;

K_1 – коэффициент концентрации напряжений, зависящий от формы выработки;

$K_{в1}$ – коэффициент концентрации напряжений, учитывающий взаимное влияние выработок;

$K_{в2}$ – дополнительный коэффициент концентрации, учитывающий влияние очистных работ;

R_i – прочность пород на сжатие в образце для i-ого слоя, тс/м^2;

η_i – коэффициент структурного ослабления;

ξ – коэффициент длительной прочности;

K_{2i} – коэффициент, учитывающий снижение прочности за счет обводненности пород;

m_i – мощность i-ого слоя, м ;

y_i – расстояние от середины i-ого слоя до центра выработки по нормали к напластованию, м ;

r_0 – приведенный радиус внутренней поверхности крепи в свету, м;

f – коэффициент крепости по шкале М.М.Протодьяконова;

L – наибольший размер поперечного сечения выработки вчерне;

C – средний размер элементарных блоков, на которые массив разбит трещинами или слабыми прослойками;

$K'_{в2}$ – промежуточный коэффициент концентрации с учетом расположения выработки относительно очистного забоя по простиранию пласта;

$q_в$ – вертикальная активная нагрузка на крепь, тс/м^2;

$S_{св}$ – площадь сечения выработки в свету, м^2;

$R'_{сркр}$ – средневзвешенная прочность пород в кровле выработки, тс/м^2;

λ – коэффициент бокового распора;

t – срок службы крепи, сут.;

$h_{св}$ – высота свода, м ;

$R_в$ – радиус выработки вчерне, м;

$l_а$ – длина анкера, м;

B – пролет выработки в проходке, м;

$R_к$ – несущая способность металлической арочной крепи, тс/м^2;

$R_а$ – несущая способность анкера, т;

$n_а$ – количество анкеров в поперечном сечении свода;

$n_р$ – количество рам крепи на I м выработки;

$\varphi_п$ – угол влияния распора анкера, град.;

$l_р$ – расчетный пролет грузонесущей арки по средней линии, м;

φ – половина центрального угла грузонесущей породной арки, град.;

$d_с$ – толщина грузонесущей арки, м;

$h_{ср}$ – высота подъема средней линии грузонесущей арки, м;

$r_{ср}$ – радиус, образующий среднюю линию грузонесущего свода, м;

2φ – центральный угол между крайними анкерами, град.;

$C_у$ – расстояние от замка свода до упругого центра, м;:

J – момент инерции, см^3;

e – эксцентриситет приложения нормальной силы в сечении грузонесущего породного свода, м;

$\varphi_{тр}$ – угол внутреннего трения, град.;

$K_{ма}$ – коэффициент сцепления упрочненного анкерами массива за счет сопротивления анкеров на срез, тс/м^2;

Σf_a – площадь сечения металлических штанг анкеров на I м^2 кровли выработки, см^2;

$\tau_{ср}$ – предел прочности штанг на срез, кг/см^2;

$K_{мг}$ – сцепление в массиве за счет сил трения, возникающих от натяжения анкеров, тс/м^2;

N – количество анкеров на I м^2 площади кровли;

$R_н$ – натяжение анкера, тс;

$f_{тр}$ – коэффициент трения породы о породу;

K – коэффициент сцепления массива, тс/м^2;

$\sigma_{пм}$ – предел прочности породной арки со стороны массива, тс/м^2;

$\sigma_{пм}$ – предел прочности породной арки на контакте с крепью, тс/м^2;

$q_н$ – несущая способность породного свода, тс/м^2;

U – смещения породного контура выработки за время эксплуатации крепи, см ;

$U_{ев}$ – смещения породного контура до момента установки анкерной крепи, см;

$t_в$ – время от момента проходки выработки до установки анкерной крепи, сут.;

L – расстояние от забоя до места установки анкерной крепи, м;

V – скорость проходки выработки, м/сутки;

$\sigma_т$ – предел текучести стали, кг/см^2;

$e_я$ – размер ядра сечения, м.

I. КОНСТРУКЦИЯ КРЕПИ

Комбинированная анкер-металлическая крепь (приложение I) представляет собой сочетание анкерной крепи с металлической арочной крепью из спецпрофилей СВП-17, 22 и 27. В качестве дополнительного поддерживающего элемента применяются межрамные стяжки, с помощью которых металлические арки как бы "пришиваются" анкерами к породе, за счет чего обеспечивается совместная работа упрочненного анкерами массива и металлической арочной крепи.

Анкера устанавливаются в промежутках между арками крепи. Количество анкеров определяется расчетом.

В качестве межрамного ограждения могут применяться железобетонные и деревянные затяжки, рулонный стеклопластик, металлическая сетка и др. материалы.

Металлическая арочная крепь выполняется по типовым проектам Центрогипрошахта [I] , Карагандагипрошахта, Южгипрошахта.

Расстояние между арками крепи определяется расчетом и берется из следующего унифицированного ряда - 0,5; 0,8; I; I,2 м.

В зависимости от горно-геологических условий в качестве анкерной крепи используются:

- металлические сталеполимерные анкера (рис. I) с закреплением замков быстротвердеющими составами на основе синтетических смол (типа АСП, АКХ и др.) или комбинированными смесями на цементной основе (АКЦ);

- металлические анкера, закрепляемые быстротвердеющими смесями на цементной основе по всей длине скважины методом задавливания или инъектирования (рис. 2, 3);

- металлические анкера с распорными замками типа АК-8 (рис. 4), АР-2 [2, 3]

Комплект анкерной крепи типа АСП (рис. I) состоит из металлического стержня и ампулы с закрепляющим химическим составом [4] .

Стержень анкера изготавливается из стали периодического профиля (ГОСТ 5781-75). Конец стержня со стороны замковой части раздвигается и разводится до размера 36 и 22 мм для шпуров, пробуренных резцами 43 и 26 мм. На стержне на расстоянии

250 мм от разведенного конца имеется опорное кольцо с уплотнительной резиновой манжетой 2, служащей для предотвращения вытекания химического состава. На втором конце стержня имеется резьба 4, опорная плитка 5 и гайка 6.

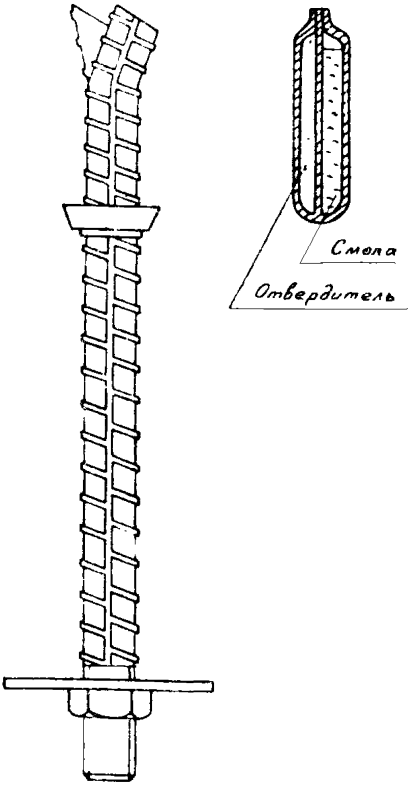


Рис.I. Металлический стеклополимерный анкер типа АСП

Ампула представляет собой мешочек из полиэтиленовой пленки или стеклянную ампулу с двумя смежными и равными отделениями. Одно отделение заполняется смолой с песком, другое - отвердителем также с песком.

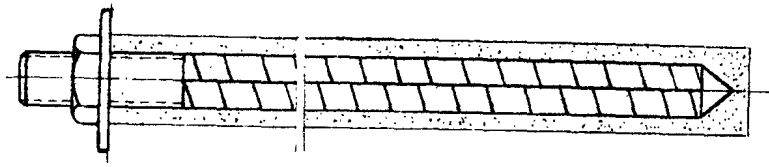


Рис. 2. Металлический анкер, устанавливаемый методом задавливания

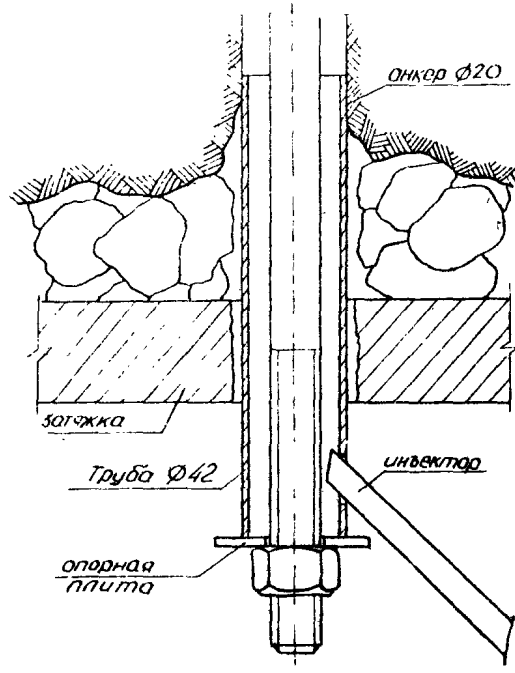


Рис. 3. Металлический анкер, устанавливаемый методом инъектирования

Содержание химического состава полимербетона (тип Ф),в.ч.

а) смола фенольно-резольная (ФРА)	100
б) наполнитель (песок)	150-200
в) отвердитель - смесь ортофосфорной и бензолсульфокислоты в отношении 1:2,5	35-50

По принципу работы анкера с полимерными замками не отличаются от работы металлической распорной анкерной крепи с механическими распорными замками. Испытания показали, что несущая способность анкеров с полимерными замками составляет 5-7 т через 5-10 мин после установки.

Окончательная затяжка анкера производится не ранее чем через 10-15 мин после установки.

Анкерная крепь АК-8 (рис. 4) относится к клинораспорному типу и состоит из стержня, двух рифленых полувтулок с проволочной скобой, шайбы и гайки. Стержень ∅ 20 мм имеет с одного конца вынтампованную головку, а с другого - резьбу длиной 150 мм.

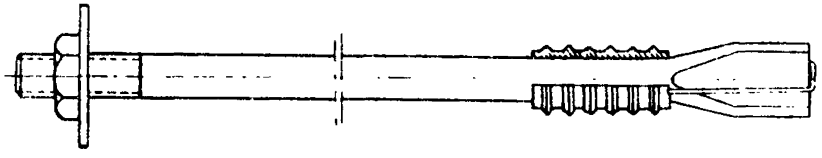


Рис. 4. Металлический анкер типа АК-8 с распорным замком

Полувтулки обеспечивают контактное сцепление замка со стенками шпура.

Стержень изготавливается из круга $\frac{20\ \text{ГОСТ}\ 2590\text{-}71}{\text{ст. 3 ГОСТ 535-58}}$, резьбу М 20х2,5 желательно нарезать длиной 150 мм на болторезных станках типа 5Б07 или 5Д07.

Полувтулка изготавливается из полосы $\frac{10\text{х}10\ \text{ГОСТ}\ 103\text{-}76}{\text{ст. 3 ГОСТ 535-58}}$

Заготовки нарезаются на прессе или молоте при помощи обсечного приспособления размером 10х34х110.

Опорная шайба с центральным отверстием ∅ 21 мм изготовляется путем отливки из чугуна.

Гайка М 20х2,5 типовая ГОСТ 14637-79. Все элементы кроме опорной шайбы, изготавливаются из стали марки ст 3 с пределом текучести 22-24 кг/мм и с пределом прочности 40-48 кг/мм^2.

Максимальное усилие по резьбе М 20х2,5 составляет 6-12 тс.

Шпуры под штанги бурятся коронками ∅ 42-43 мм.

Как отмечалось выше, для обеспечения совместной работы анкерной и металлической крепей, а также в качестве поддерживающих элементов для металлической арочной крепи применяются межрамные стяжки.

Межрамная стяжка представляет собой металлический сварной каркас (рис. 5, 6). Материалом для их изготовления может служить полосовая сталь (лист $\frac{\text{Б-ПН-4 ГОСТ 19903-74}}{\text{В ст.3 сп. ГОСТ 14637-69}}$) (рис. 5) или сталь круглого сечения (круг $\frac{\text{В 16 ГОСТ 2590-71}}{\text{ст.3 ГОСТ 535-58}}$) (рис. 6).

В качестве межрамной стяжки может быть использована также полосовая сталь толщиной 4-8 мм с круглыми или эллиптическими отверстиями для анкеров, причем размер стяжек зависит от шага установки металлической арочной крепи (рис. 7).

Прочность закрепления анкеров с распорными металлическими замками определяется по формуле [5]

$$R_{аз} = \frac{3\bar{f}}{0,2\bar{f} + 1},$$

где $R_{аз}$ – прочность закрепления (несущая способность) анкера, тс;

$\bar{f}$ – коэффициент крепости пород в массиве.

Прочность закрепления замков цементными растворами или химически закрепляющими составами для анкера из профилированной арматурной стали с утолщением на конце определяется по формуле [17]

$$R_{аз} = \pi d l_з K_{сц}, кгс,$$

где d – диаметр скважины, см;

$l_з$ – длина замка, см;

$K_{сц}$ – удельное сцепление цементного камня со стенками скважины. Для цементного раствора удельное сцепление песчаника, алевролита, аргиллита и угля соответственно

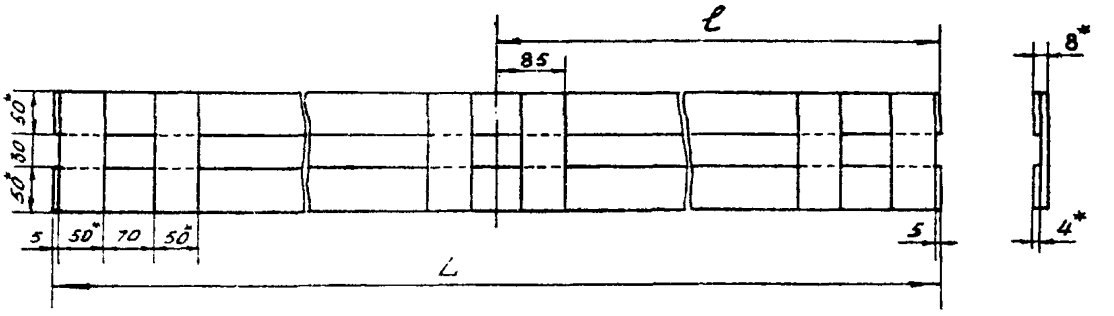


Рис.5. Мекрамная стяжка в виде сварного каркаса из полосовой стали

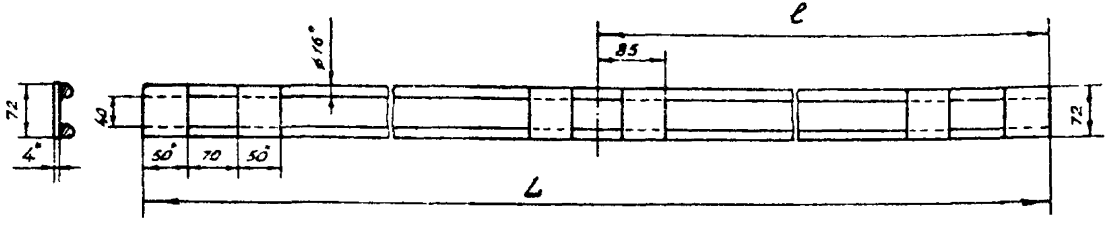


Рис. 6. Мекрамная стяжка в виде сварного каркаса из стали круглого сечения

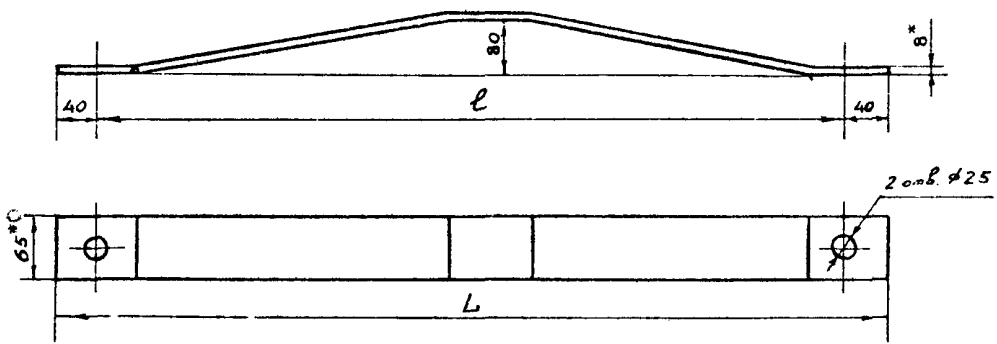


Рис. 7. Межрамная стяжка из полосовой стали

равно 27,9; 27,1; 19,9; 14,6 кгс/см^2. Для химических закрепляющих растворов значения сцеплений принимаются соответственно на 25-30% больше.

2. УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КРЕПИ

Условия работы крепи определяются характером проявления горного давления в соответствии с методикой и классификацией, изложенной в п. 4.

В условиях второго класса, когда вокруг выработки формируется новый устойчивый контур или свод естественных равновесий, рекомендуется применять металлические анкера типа АК-8, АР-2 или металлические анкера с полимерными замками типа АСП, АКХ.

В условиях третьего и четвертого классов, когда вокруг выработки образуется область неупругих деформаций, для капитальных горных выработок рекомендуются металлические анкера с закреплением их по всей длине скважины быстротвердеющими цементными растворами методом инъектирования. Для подготовительных выработок могут применяться анкера типа АК-8 или АСП.

В породах с коэффициентом крепости $f < 1$, в зонах геологических нарушений и сильнотрещиноватых пород (пятый класс), а также в породах, склонных к вязкому течению (шестой класс), применять анкер-металлическую крепь не рекомендуется.

3. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ УСТАНОВКЕ КРЕПИ

Бурение шпуров под анкера в двухпутевых выработках, проходимых по породе, производится бурильными установками, колонковыми электросверлами, специальными установками типа МАП-1, переносным станком ПА-1, бурильной установкой БУЭ-1А, безраспорной буровой колонкой КАУ-2.

Шпуры для установки анкеров должны быть расположены строго в соответствии с утвержденным паспортом, поэтому при их разметке и бурении следует применять специальный шаблон.

Допустимое отклонение фактического расстояния между анкерами от проектного в пределах 10%. Перед установкой анкеров необходимо проверить правильность расположения, глубину и прямолинейность шпуров.

Технология установки анкеров зависит от их конструкции.

Установка анкеров типа АК-8

Шпуры для установки анкеров следует бурить стандартными буровыми коронками, применяемыми на данной шахте для бурения шпуров, что сводит к минимуму вероятность установки анкеров в шпуры завышенного диаметра. Надежное закрепление замков металлических анкеров в шпурах обеспечивается при определенных соотношениях размеров элементов замка и диаметра скважины.

Это соотношение для металлических распорных анкеров должно обеспечивать глубину внедрения распорных элементов замка в бока скважины не менее 3 мм, в то же время обеспечивать возможность беспрепятственного ввода анкера в скважину при анкерах с распорным замком. Разницу между диаметром шпура и наружным диаметром распорных сегментов следует принимать не более 4-5 мм.

Установка анкера АК-8 производится следующим образом. На стержень анкера с одного конца подвешивается проволочный хомут с полувтулками, которые предварительно раздвигаются, с тем чтобы при вводе замковой части в скважину они касались ее стенок. Дальнейшее поступательное перемещение анкера в скважине производится до упора. Для закрепления анкера применяется установочная труба. После расклинки замка устанавливается стяжка, которая натягивается опорной шайбой с помощью гайки.

Установка анкеров типа АСП

Шпуры под анкера могут буриться диаметром 42 и 26 мм. Соответственно этим диаметрам шпуров диаметр ампул и размер разведенных концов стержня должен быть 36 и 20 мм. Установка анкера производится в следующей последовательности [4]. В пробуренный шпур вводится ампула и стержнем анкера досылается до дна. Затем электросверлом с помощью переходника стержень приводится во вращательное движение, при этом он медленно с небольшим усилием поступательно перемещается по направлению

дна шпура. Во время этого движения ампула разрывается, смола и отвердитель вместе с песком растекаются вдоль стержня до уплотнительной манжеты и перемешиваются. Время перемешивания 20–30 секунд. Закрепляющий состав отверждается и быстро набирает прочность.

Через 10–15 минут после установки анкера на его выступающий в выработку конец подвешиваются опорные элементы, навинчивается гайка и затягивается до отказа.

Перед установкой поддерживающих элементов по возможности необходимо устранить неровности на площади соприкосновения их с контуром выработки.

Затягивание гаек на анкерах производится специальными гайковертами или вручную. При затягивании гаек вручную необходимо применять торцовый ключ, имеющий рукоять длиной не менее 0,7 м.

Окончательная затяжка анкеров производится не ранее чем через 10–15 минут после установки.

Установка железобетонных анкеров методом инъектирования

Установка железобетонных анкеров этим способом производится в два этапа. На первом этапе непосредственно в призабойной зоне после бурения шпуров устанавливаются обычные анкера типа АК–8. Затем в устье шпура вводится отрезок трубы Ø 42 мм (рис. 3), предназначенный для подачи раствора в шпур и герметизации скважины. На конце трубы выполнено отверстие для установки инъектора.

Торцевая часть трубы перекрывается опорной плиткой и гайкой. Длина трубы зависит от толщины затяжки и размеров закрепного пространства. После установки трубок производится натяжение анкера в обычном порядке.

Второй этап – замоноличивание анкеров методом инъектирования выполняется на расстоянии 20–30 м от забоя.

Процесс замоноличивания (инъектирования) включает приготовление раствора и заполнение им скважин с ранее установленными анкерами.

Комплект оборудования ПРН-2 (рис. 8) для нагнетания раствора в шпуры состоит из следующих основных агрегатов. На платформу вагонетки УВГ-3 установлен бетононагнетатель конструкции института "Кузниишахтострой". Для хранения компонентов инъектируемого материала предусмотрена емкость для цемента. Приготовление раствора осуществляется в турбулентной растворомешалке емкостью 65 л конструкции института "Кузниишахтострой". Поворотная площадка, установленная также на платформу, позволяет заполнить шпуры цементным раствором из одного положения по всему периметру выработки. В комплект оборудования входят шланги и инъекторы для подачи раствора в шпур. Установка ПРН-2 подключается к общешахтной воздушной магистрали.

Рекомендуется применять раствор для инъектирования с водоцементным отношением В:Ц = I:2,0 при марке цемента "300" с добавкой в качестве ускорителя твердения 3-5% водного раствора хлористого кальция (от веса цемента).

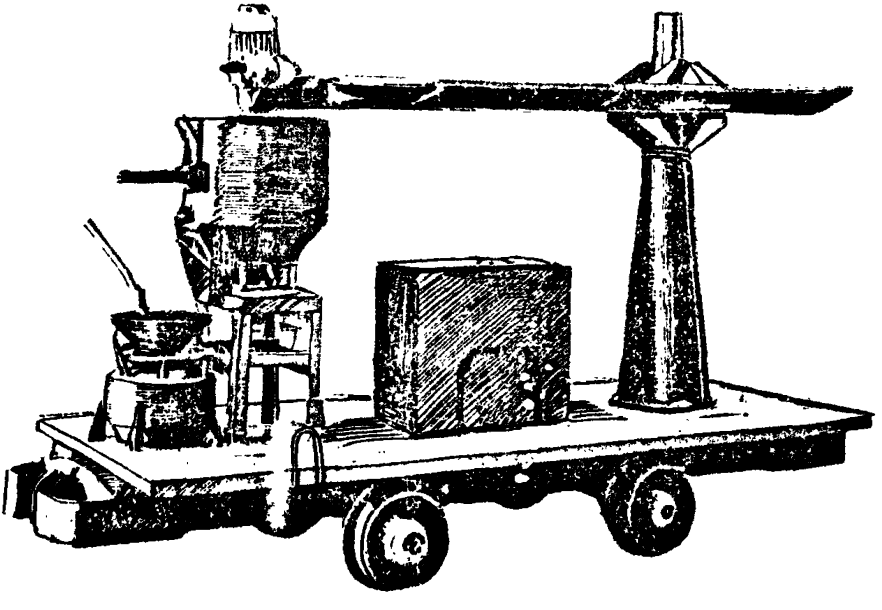


Рис.8. Комплект оборудования ПРН-2 для нагнетания раствора в шпуры

Раствор из бетононагнетателя подается в скважину сжатым воздухом под давлением 3–4 атм по резиновому шлангу и металлической трубке диаметром 8–10 мм. Трубка вводится в скважину через специальное отверстие. Время инъектирования I шпура – 20–30 с, расход раствора – 2–6 л на I шпур.

Через I–2 часа после инъектирования трубки снимаются и используются повторно.

Заключительной операцией является установка межрамных стяжек. При первичном затягивании гаек натяжение анкерного стержня следует обеспечивать в пределах 0,7–I,0 т. Спустя сутки повторной затяжкой гаек необходимо создать натяжение стержня 2,5–3,т. Это необходимо для плотного прижатия межрамных стяжек и металлических арок крепи к породному контуру. Таким образом обеспечивается совместная работа анкерной и металлической крепей.

При установке анкеров следует добиваться того, чтобы концы штанг находились в одной плоскости вдоль выработки и не выходили за проектный контур выработки в свету. Для этого необходимо бурить шпуры определенной глубины и перед установкой анкера в шпур измерить глубину шпура от контура крепи.

Графики организации работ при установке металлической арочной крепи из спецпрофиля с плотностью 2 рамы на I м и комбинированной анкер-металлической крепи при установке металлических рам через I м и анкеров типа АК-8 или АСП показаны соответственно на рис. 9 и I0. График организации работ при креплении выработки комбинированной крепью с установкой железобетонных анкеров, возводимых методом инъектирования, приведен на рис. II.

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ

Основой для выбора расчетной схемы крепи и прогнозирования проявлений горного давления является классификация условий работы, предоставленная в табл. I.

Наименование работ	Объем работ: ед. изм.	Объем работ: к-во	Норма времени: к-во	Норма времени: ед. изм.	Норма времени: обоснование	Трудоемкость, чел.-ч	Время по графику, ч
Бурение шпуров	шп.м	224	0,123	чел.-ч	ЕНиР	27,5	3,25
Заряжание, взрывание, проветривание	шп.	–	–	–	–	–	I,0
Погрузка	$м^3$	49,2	0,769	чел.-ч	ЕНиР	37,8	4,55
Установка мет. рам	шт.	5,6	II,765	чел.-ч	ЕНиР	45,8	6,30
Затяжка бортов и кровли	$м^2$	I4,5	I,0	чел.-ч	ЕНиР	I4,5	2,0
Прием и сдача смены							

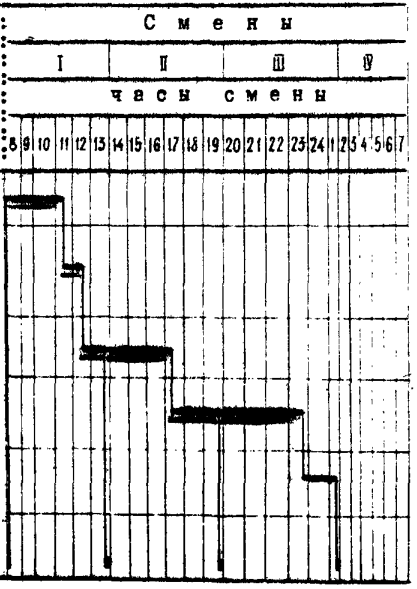


Рис.9. График организации работ при креплении выработки металлической арочной крепью из спецпрофиля с плотностью 2 рамы на I м выработки ($S_{св}$ = I4,5 м2; $S_{пр}$ = I9,I м2)

Наименование работ	Объем работ: ед. изм.	Объем работ: к-во	Норма времени: к-во	Норма времени: ед. изм.	Норма времени: обоснование	Трудоемкость, чел.-ч	Время по графику, ч
Бурение шпуров	шп.м	224	0,I23	чел.-ч	ЕНиР	27,5	3,25
Заряжание, взрывание, проветривание	шп.	-	-	-	-	-	I,0
Погрузка	$м^3$	49,2	0,769	чел.-ч	ЕНиР	37,8	4,55
Установка мет. рам	шт.	2,8	II,765	чел.-ч	ЕНиР	I8,I	2,35
Затяжка боков и кровли	$м^2$	I4,5	I,0	чел.-ч	ЕНиР	I4,5	2,0
Бурение шпуров и установка анкеров	шт.	I3,0			хронометраж		2,50
Установка межрамных отяжек	шт.	I3,0			хронометраж		I,05
Прием и сдача смены							

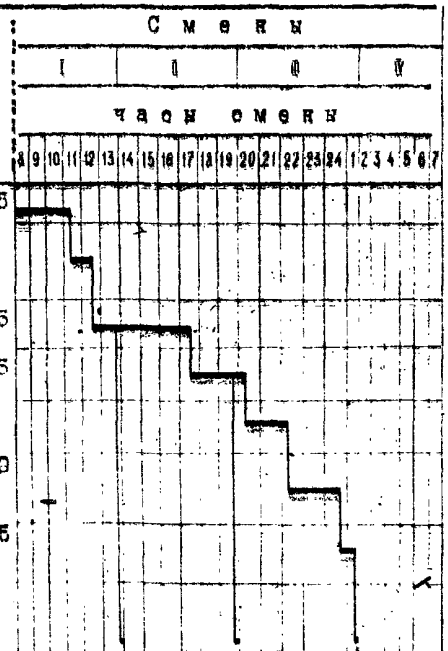


Рис.I0. График организации работ при креплении выработки комбинированной анкер-металлической крепью с установкой анкеров типа АК-8 или АСП и металлических рам через I ч ($S_{св}$ = I4,5 $м^2$; $S_{пр}$ = I9,I $м^2$)

Наименование работ	Объем работ: ед. изм.	Объем работ: к-во	Норма времени: к-во	Норма времени: ед. изм.	Норма времени: обоснование	Трудоемкость, чел.-ч	Время по графику, ч
Бурение шпуров	шп.м	224	0,I23	чел.-ч	ЕНиР	27,5	3,25
Заряжание, взрывание, проветривание	шп.	-	-	-	-	-	I,0
Погрузка	$м^3$	49,2	0,769	чел.-ч	ЕНиР	37,8	4,55
Установка мет. рам	шт.	2,8	II,765	чел.-ч	ЕНиР	I8,I	2,35
Затяжка боков и кровли	$м^2$	I4,5	I,0	чел.-ч	ЕНиР	I4,5	2,0
Бурение шпуров и установка анкеров	шт.	I3,0	-		хронометраж		2,I0
Инъектирование шпуров цементным раствором	шт.	I3,0	-		хронометраж		0,40
Установка межрамных стяжек	шт.	I3,0			хронометраж		I,05
Прием и сдача смены							

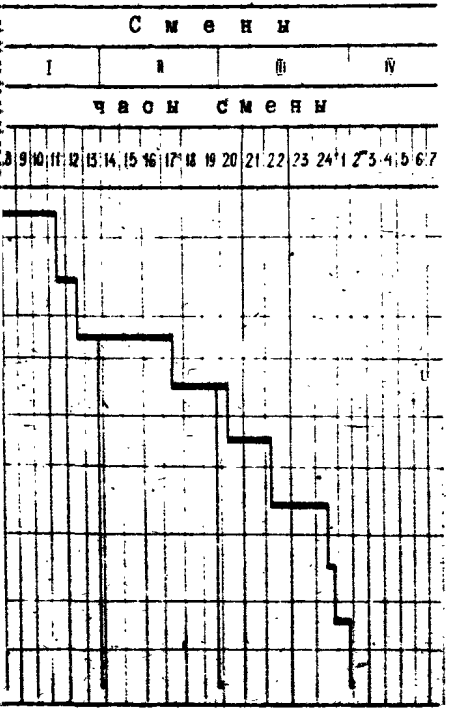


Рис.II. График организации работ при креплении выработки комбинированной анкер-металлической крепью с установкой железобетонных анкеров, возводимых методом инъектирования ($S_{св}$ = I4,5 $м^2$; $S_{пр}$ = I9,I $м^2$)

Таблица I

Категория устойчивости	I	II	III	IУ	У	УI
Характер проявлений горного давления	Контур выработки устойчив	Первоначальный контур выработки разрушается, переходя в новый, устойчивый для данных условий контур-свод естественного равновесия	Первоначальный контур выработки разрушается и вокруг выработки образуется область неупругих деформаций. Восстановление равновесия в массиве возможно только при участии реакции крепи	Первоначальный контур выработки деформируется и вокруг выработки образуется устойчивая область предельных равновесий. Связь между элементами массива в зоне неупругих деформаций не нарушается	Восстановление равновесия массива после проходки выработки возможно только при участии реакции крепи. Связь между элементами массива отсутствует (сыпучая среда)	Первоначальный контур выработки деформируется, восстановление равновесия возможно только при участии реакции крепи. Деформации носят характер вязкого течения
Коэффициент устойчивости	$n \geq I$	$I > n > 0,7$	$0,7 > n > 0,2$	$0,7 > n > 0,2$	Отсутствует	$n < 0,2$
Режим работы крепи	Нагрузка на крепь отсутствует	Режим заданной нагрузки	Режим совместной работы	Режим совместной работы	Режим совместной работы	Режим совместной работы

Условия работы определяются устойчивостью окружающего выработку массива горных пород по методике, изложенной в работе [6].

Коэффициент устойчивости определяется из выражения

$$n = \frac{R_{ср}}{\gamma H K_1 K_{в_2}}, \qquad (I)$$

где $R_{ср}$ – средневзвешенный предел прочности горных пород в массиве на сжатие, тс/м^2;

γ – средний объемный вес горных пород, тс/м^3;

H – глубина заложения выработок, м;

K_1 – коэффициент концентрации напряжений, зависящий от формы выработки;

$K_{в_2}$ – дополнительный коэффициент концентрации, учитывающий влияние очистных работ.

Величины приведенных коэффициентов определяются следующим образом.

Средневзвешенный предел прочности пород, окружающих горную выработку (рис. I2 а,б,в) по нормали к напластованиям, определяется по формуле

$$R'_{ср} = \frac{\sum_1^i R_i \ell_i \xi_i K_{2i} \left(\frac{m_i}{y_i}\right)}{\sum_1^i \frac{m_i}{y_i}}, \qquad (2)$$

где R_i – прочность пород на сжатие в образце i-ого слоя;

ℓ_i – коэффициент структурного ослабления;

ξ_i – коэффициент длительной прочности;

K_{2i} – коэффициент, учитывающий снижение прочности за счет обводненности пород;

m_i – мощность i-ого слоя;

y_i – расстояние от середины i-ого слоя до центра выработки по нормали к напластованию.

В расчет принимаются свойства массива на расстоянии двух диаметров от центра выработки.

Для выработки типа квершлаг расчет средневзвешенного предела прочности массива производится по вертикальным сечениям (рис. I2 а, б, сечение I-I). Для полевых штреков схема расчета $R_{ср}$ приведена на рис. I2 а.

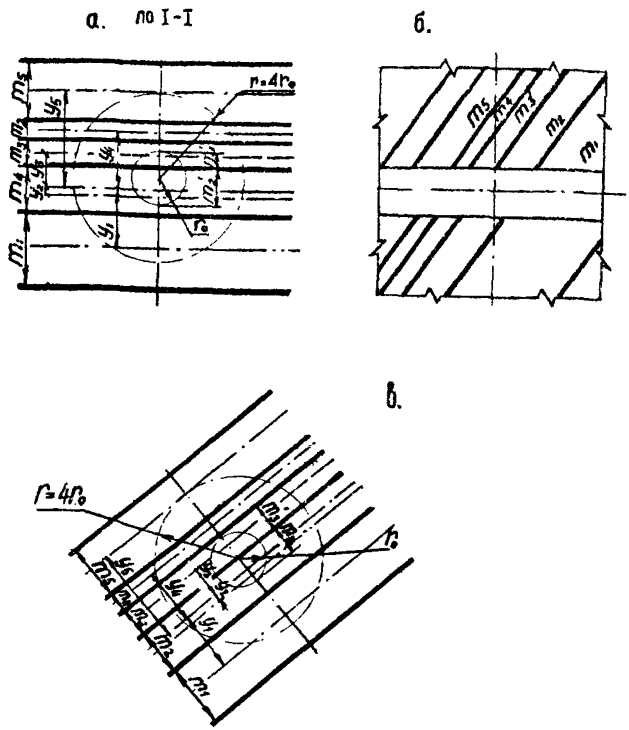


Рис.I2. Схема расположения выработки относительно слоев горных пород

а, б – для квершлага; в – для полевого штрека

Если выработка имеет арочную, трапециевидную или квадратную формы, то она условно приводится к круглой [7] с радиусом

$$r_0 = 0{,}63\sqrt{S_{св}}. \qquad (3)$$

Предел прочности горных пород на сжатие определяется путем испытания образцов правильной формы (призмы, цилиндры). В тех случаях, когда образцы правильной формы получить невозможно, допускается производить испытания на образцах неправильной формы. Испытания должны производиться по стандартным методикам [8].

Прочностные показатели пород, как правило, должны определяться геологическими партиями в процессе разведочного бурения и впоследствии выполняться геологами шахт при проведении горных выработок.

Если сведения о прочностных показателях отсутствуют, то ориентировочно прочность на сжатие можно определить по формуле

$$R = f \cdot 100 \quad кг/см^2. \qquad (4)$$

Коэффициент структурного ослабления на основании работ [7, 9, 10, 11] предлагается определять по графику, изображенному на рис. 13.

Когда значение C заранее неизвестно, рекомендуется принимать следующие значения коэффициента структурного ослабления:

- для монолитных слаботрещиноватых пород γ = 0,8;
- для пород средней трещиноватости γ = 0,5;
- для пород сильнотрещиноватых γ = 0,4–0,3;
- в зонах дробления, геологических нарушений γ =0,2–0,1.

Коэффициент концентрации напряжений K_1 на основании работы [12] рекомендуется определять в зависимости от формы выработки по табл. 2. При определении коэффициента устойчивости почвы для замкнутых сечений K_1 = 3.

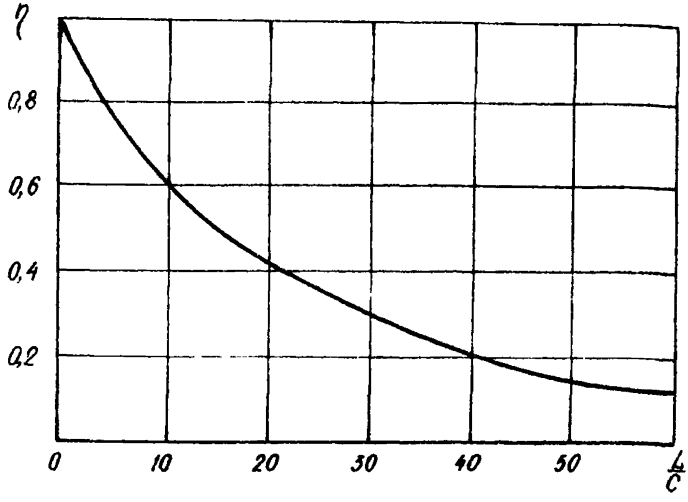


Рис.I3. График для определения коэффициента структурного ослабления (L - наибольший размер поперечного сечения выработки вчерне,м; C - средний размер элементарных блоков, на которые массив разбит трещинами или слабыми прослойками)

Таблица 2

Форма сечения выработки	Отношение ширины выработки к высоте	K_1
Круглая	-	2,0
Сводчатая	I:I	2,5
	3:2	3,0
Прямоугольная и трапециевидная	I:I	2,8
	2:I	3,2

Коэффициент длительной прочности на основании работы [I3] принимается для песчаников I-0,8; аргиллитов - 0,9-0,8; алевролитов - 0,8-0,7.

Коэффициент снижения прочности за счет повышенной влажности принимается по работе [I3] для песчаников 0,8; аргиллитов – 0,75; алевролитов – 0,7.

Определение коэффициента дополнительной концентрации за счет влияния очистных работ производится по графикам, изображенным на рис. I4, I5 с учетом расположения выработки относительно пласта и забоя лавы.

Сначала по графику на рис. I4 определяется промежуточный коэффициент концентрации с учетом расположения выработки относительно очистного забоя по простиранию пласта $K'_{в2}$, затем для соответствующего $K'_{в2}$ по графику на рис. I5 определяется значение $K_{в2}$ с учетом расположения выработки по нормали к пласту.

Основой для выбора расчетной схемы при прогнозировании горного давления и принципов проектирования крепей является классификация условий работы, представленная в табл. I.

При $n \geq I$ имеет место первый класс условий работы, т.е. крепь не имеет регулярной нагрузки и играет роль конструкции, окружающей от случайных вывалов и предохраняющей породу от выветривания.

При $0,7 < n \leq I$ [I4] имеет место второй класс условий работы, т.е. образуется новый контур выработки или свод устойчивых равновесий. Крепь испытывает нагрузку от веса пород, находящихся в объеме свода, и работает в режиме заданных нагрузок. В этом случае, как известно, нагрузка на крепь не зависит от величины ее податливости.

Вертикальная активная нагрузка на крепь может быть определена по формуле

$$q_в = 0,288\sqrt{S_{вых}}\left(\frac{2\gamma H}{R'_{ф.к} - \gamma H(1-\lambda)} - 1\right)\ln\frac{t}{0,88}, \qquad (5)$$

где $R'_{ф.к}$ – средневзвешенная прочность пород в кровле выработки, т/м^2.

Горизонтальная нагрузка $q_б \approx 0,3\, q_в$; $\lambda = 0,5\text{-}0,7$.

При $0,2 \leq n \leq 0,7$ [I5] (третий и четвертый классы условий работы) вокруг пройденной выработки образуется область неупругих деформаций.

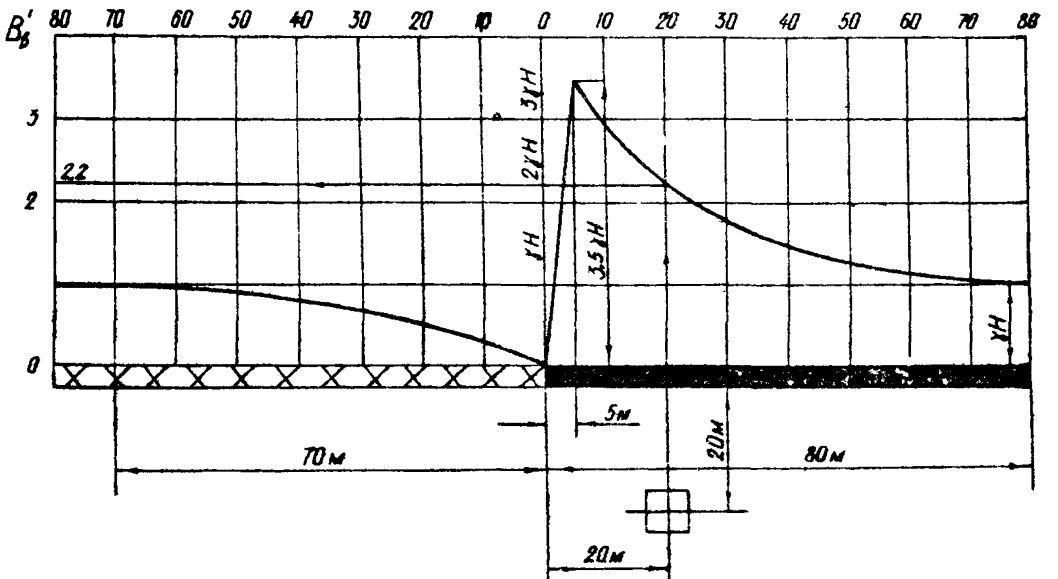


Рис.I4. График для определения промежуточного коэффициента концентрации K_{B_2} за счет влияния очистных работ по простиранию пласта

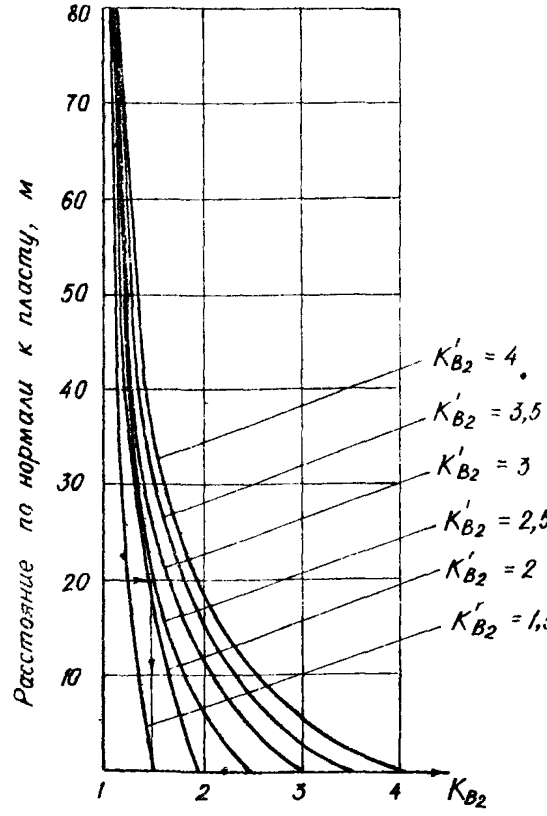


Рис.15. График для определения дополнительного коэффициента концентрации K_{B_2}

Крепь работает в условиях взаимодействия с окружающим массивом, т.е. нагрузка на крепь зависит от ее податливости.

Нагрузку на крепь в случае применения ее вслед за подвиганием забоя предлагается определять по графикам, приведенным на рис. I6 и I7.

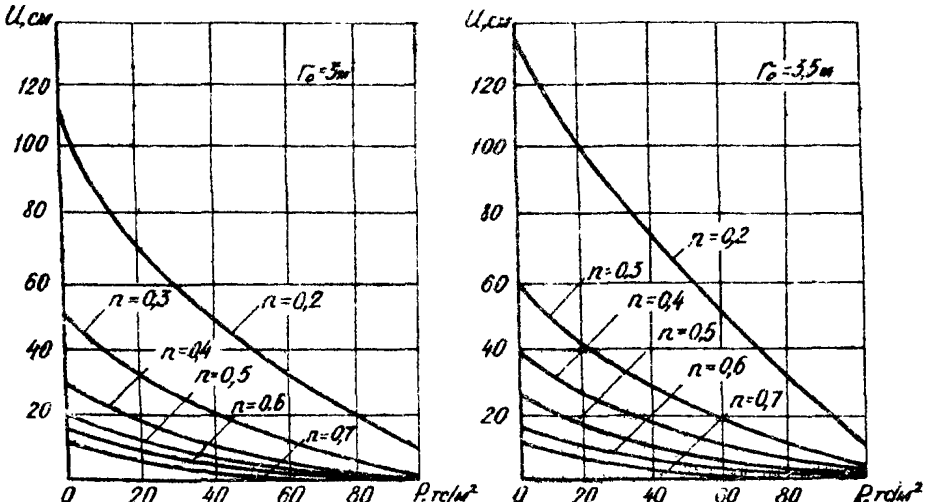


Рис.16. Графики для определения смещений массива U и нагрузки P на крепь в зависимости от коэффициента устойчивости и величины конструктивной податливости крепи и забутовки $U_{кз}$ при r_0 = 3; 3,5 м

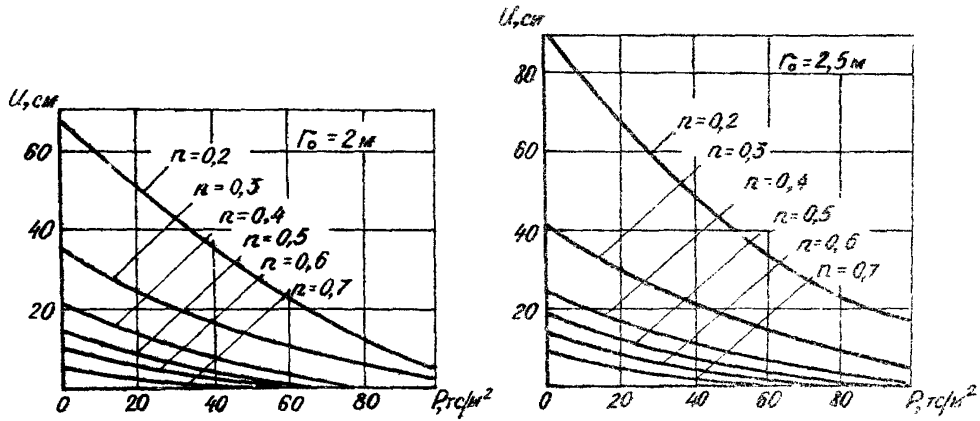


Рис.17. Графики для определения смещений массива U и нагрузки P на крепь в зависимости от коэффициента устойчивости и величины конструктивной податливости крепи и забутовки $U_{кз}$ при r_0 = 2,5; 2,0 м

Графики для прогнозирования нагрузок и смещений получены из решения упругопластической задачи с учетом результатов натурных исследований проявлений горного давления.

Для условий второго класса, когда в кровле выработки образуется свод естественных равновесий, расчет анкерно-металлической крепи рекомендуется выполнять из предположения, что вес отслоившихся в кровле пород воспринимается арками крепи и анкерами, работающими на растяжение и закрепленными за пределами свода (рис.I8).

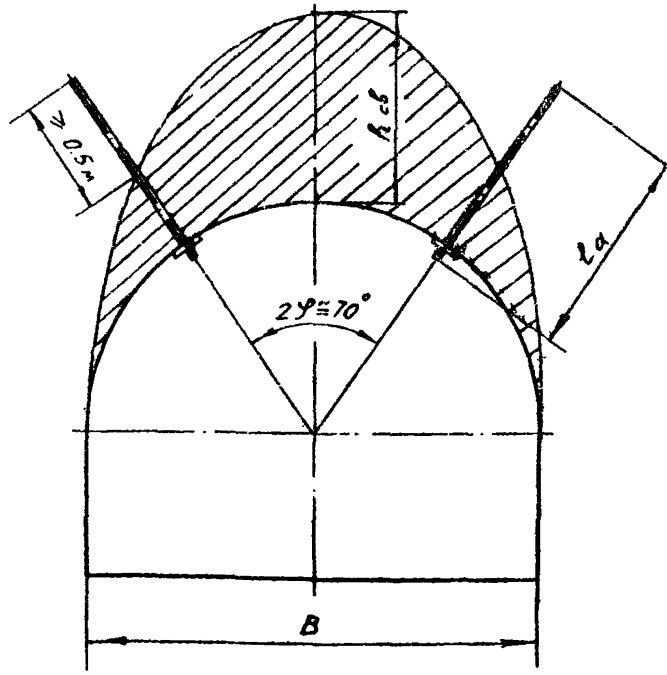


Рис.I8. Схема к расчету анкеров с использованием теории свода

Высота свода $h_{св.}$ определяется из выражения

$$h_{св.} = R_0\left(\frac{2\gamma H}{R_{сж.} - \gamma H(1-\lambda)} - 1\right), \qquad (6)$$

где $\lambda = 0{,}5$.

Длина анкера l_a в метрах определяется из выражения

$$l_a = 0{,}5\, h_{св.} + 0{,}5 + 0{,}1 \qquad (7)$$

В поперечном разрезе выработки устанавливается два анкера, центральный угол между ними должен составлять $2\varphi = 70^0$ (рис. 18).

Количество анкеров на 1 м выработки подбирается по формуле

$$q_в B = R_к n_р + R_a n_a \qquad (8)$$

$$n_a = \frac{q_в B - R_к n_р}{R_a}, \qquad (9)$$

где $q_в$ - вертикальная активная нагрузка на крепь, т/м^2;
B - пролет выработки в проходке, м;
$R_к$ - несущая способность металлической арочной крепи, определяется по табл. 206, заимствованной из работы 16 (приложение 8);
$n_р$ - количество рам крепи на 1 м выработки;
n_a - количество анкеров в поперечном сечении свода.

Значение $q_в$ определяется по формуле (5).

В том случае, если $n_a > 2$, необходимо увеличить количество анкеров на 1 м в направлении оси выработки.

Для третьего и четвертого классов условий расчет анкер-металлической крепи производится на основании работ [17, 18, 19] и следующих предпосылок:

-за счет натяжения анкеров и отпора крепи вокруг выработки формируется грузонесущий свод;

- нагрузка со стороны массива воспринимается системой, состоящей из породной арки и крепи;

- геометрические параметры несущей арки определяются по предложениям А.А.Борисова [I8] ;

- несущая способность породной арки определяется на основании расчета в соответствии с теорией прочности Кулона-Мора.

Расчетная схема к определению параметров свода изображена на рис.I9.

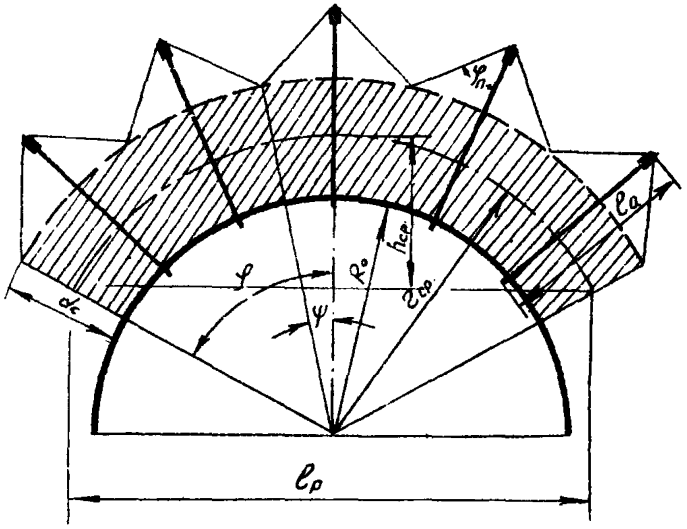


Рис.I9. Схема к расчету анкеров с использованием теории грузонесущего породного свода

Для расчета параметров крепи прежде всего определяется коэффициент устойчивости приконтурного массива по формуле (I) и в случае, если $n < 0{,}7$, расчет ведется по излагаемой ниже программе.

Толщина породного свода d_c определится из выражения

$$d_c = \frac{[R_o + (\ell_a - 0{,}15)]\sin\varphi_n}{\sin(\psi + \varphi_n)} - R_o \qquad (10)$$

$$\psi = \frac{\varphi}{n} \qquad (11)$$

Пролет свода по средней линии определится из выражения

$$\ell_p = 2\left(R_o + \frac{d_c}{2}\right)\sin\varphi\,, \qquad (12)$$

где ℓ_a – длина анкера, м,
2φ – центральный угол между опорами свода, град.

Стрела подъема породного свода по средней линии

$$h_{cp} = \left(R_o + \frac{d_c}{2}\right)(1 - \cos\varphi) \qquad (13)$$

Статический расчет свода на вертикальную равномерно распределенную нагрузку произведем по методике, изложенной в работе [19] .

Для свода, очерченного по дуге окружности, положение упругого центра определится выражением

$$c_y = \frac{h_c}{3}\left(\beta_o' + \beta_o''\right) \qquad (14)$$

Коэффициенты канонических уравнений

$$\delta_{11} = 2 r_{cp}\varphi \quad ; \quad \delta_{22} = 2 r_{cp}^3 \varphi K_o \; ; \qquad (15)$$

$$K_o = K_1\left[1 + \frac{1}{12}\left(\frac{d_c}{r_{cp}}\right)^2\right] - K_2\left(\frac{c_1}{r_{cp}}\right) - K_3 \; ;$$

$$K_2 = 1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi}; \qquad K_1 = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\varphi}\right); \qquad (16)$$

$$K_3 = \frac{2\sin\varphi}{\varphi} - 1; \qquad K_4 = \left(1 - \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\varphi}\right);$$

$$\delta_{33} = r_{cp}^3 \varphi K_4 \left[1 + \left(\frac{d_c}{r_{cp}}\right)^2 \frac{1}{12}\right]; \qquad (17)$$

$$\delta_{1p} = -\frac{q r_{cp}^3}{2} \varphi K_4;$$

$$\delta_{2p} = -\frac{q r_{cp}^4}{6} \varphi K_5; \qquad (18)$$

$$K_5 = 3 K_4 \left(1 - \frac{c_y}{r_{cp}}\right) - 2\frac{\sin^3\varphi}{\varphi}; \qquad (19)$$

Неизвестные усилия, приложенные в упругом центре

$$M_1^0 = -\frac{\delta_{1p}}{\delta_{11}};$$

$$H_2^0 = -\frac{\delta_{2p}}{\delta_{22}}; \qquad (20)$$

Усилия в замке свода

$$M_0 = M_1^0 - H_2^0 c_y,$$

$$H_0 = H_2^0. \qquad (21)$$

Усилия от боковой нагрузки

$$\delta_{1p} = -\frac{q_6 r_{cp}^3}{2} \varphi K_9;$$

$$K_9 = 3 - 4\frac{\sin\varphi}{\varphi} + \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\varphi};$$

$$\delta_{2p} = -\frac{q_6 r_{cp}^4}{6} \varphi K_{11}; \qquad (22)$$

$$K_{11} = 3\left(1 - \frac{c_y}{r_{cp}}\right) K_9 - 2 K_{10};$$

$$K_{10} = 6\frac{\sin\varphi}{\varphi} - 3\frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\varphi} - \frac{\sin^3\varphi}{\varphi} - 3,$$

Неизвестные усилия, приложенные в упругом центре

$$M_1^o = -\frac{\delta_{1P}}{\delta_{11}} \quad ; \qquad H_2^o = -\frac{\delta_{2P}}{\delta_{22}} ;$$

Усилия в замке свода

$$M_o = M_1^o - c_y H_2^o \quad ; \qquad H_o = H_2^o ;$$

Результирующие усилия в замке свода при $q = q_\delta$

$$M_o = \sum M_o \quad ; \qquad H_o = \sum H_o ;$$

Эксцентриситет приложения продольных сил

$$e = \frac{M_o}{H_o} ; \tag{23}$$

Эксцентриситет приложения продольных сил должен находиться в пределах ядра сечения, т.е.

$$\frac{H_o}{M_o} \leq \frac{d_{cp.}}{6} , \tag{24}$$

в этом случае растягивающие напряжения не возникают.

В том случае, если равнодействующая будет находиться в пределах средней трети сечения, наибольшее σ_{max} и наименьшее σ_{min} напряжения определяются из выражений (рис. 20)

$$\sigma_{max} = \frac{H_o}{d_c}\left(\frac{6e + d_c}{d_c}\right), \qquad \sigma_{min} = \frac{2H - \sigma_{max} \cdot d_c}{2 d_c} ; \tag{25}$$

Прочность пород в своде, упрочненном анкерованием, определим по методу Кулона-Мора с учетом упрочняющего влияния анкеров и отпора крепи.

Породы в зоне неупругих деформаций в соответствии с работами [19, 20] примем в виде разрушенной среды с углом внутреннего трения $\varphi_{тр.} = 30^o$.

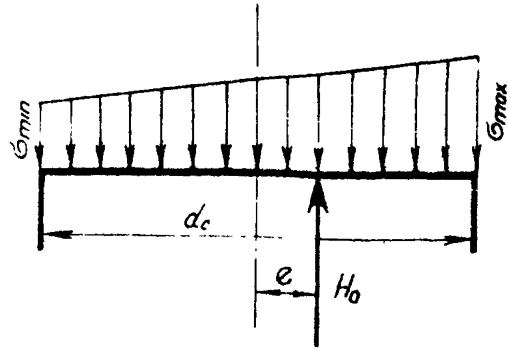


Рис.20. Схема к определению напряжений в породной арке

За счет прочности анкеров на срез сцепление массива составит

$$K_{ма} = \frac{(\Sigma F_a)\cdot \tau_{ср}}{1000} \quad тс/м^2 , \tag{26}$$

где ΣF_a – площадь сечения металлических штанг анкеров на I м^2 кровли выработки, см^2;

$\tau_{ср}$ – предел прочности штанг на срез, кг/см^2.

За счет сил трения, возникающих от натяжения анкеров, сцепление составит

$$K_{мт} = N R_н f_{тр} , \tag{27}$$

где N – количество анкеров на I м^2 площади кровли;

$R_н$ – натяжение анкеров, тс;

$f_{тр}$ – коэффициент трения породы о породу.

Таким образом, паспорт прочности материала породной арки может быть представлен прямолинейной огибающей вида (рис. 21)

$$\tau_n = \sigma_n \, tg \, \varphi_{тр} + K \quad , \tag{28}$$

где $\varphi_{тр} = 30^0$.

$$K = K_{ма} + K_{мт} \quad . \tag{29}$$

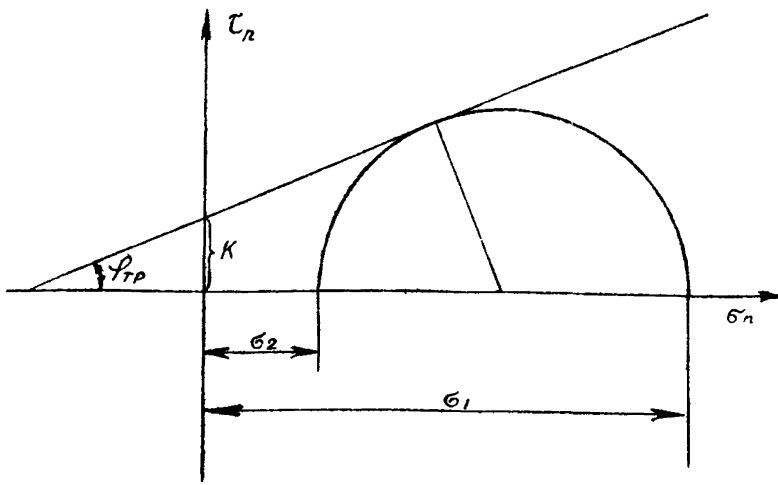


Рис.21. Паспорт прочности массива в пределах породной арки

На внешний контур свода действует нагрузка со стороны массива интенсивностью $q_в$, а на внутренний контур действует реакция крепи и предварительное натяжение анкеров. Следовательно, для внешнего контура $\sigma_2 = q_в$, а для внутреннего

$$\sigma_2 = \Sigma R_к + \Sigma R_н \quad .$$

Прочность массива на сжатие с учетом упрочняющего эффекта от действия напряжений со стороны массива ($\sigma_2 = q_в$) определится из выражения

$$\sigma_{пм} = \frac{2K + q_в \left(tg \, \varphi_{тр} + \frac{1}{\cos \varphi_{тр}} \right)}{\frac{1}{\cos \varphi_{тр}} - tg \, \varphi_{тр}} \quad . \tag{30}$$

Если эксцентриситет действия нормальной силы невелик, то возникают сжимающие напряжения в приконтурном массиве со стороны крепи, тогда прочность приконтурного массива определится из выражения

$$\sigma'_{пм} = \frac{2K + (\Sigma R_к + \Sigma R_н)\left(tg\,\varphi_{тр} + \frac{1}{\cos\varphi_{тр}}\right)}{\frac{1}{\cos\varphi_{тр}} - tg\,\varphi_{тр}} \quad . \tag{31}$$

Условия прочности породной арки можно выразить следующими соотношениями

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{пм} \; ; \quad \sigma_{min} \leq \sigma'_{пм} \quad . \tag{32}$$

Подставив значения, получим

$$\frac{H_0}{d_c}\left(\frac{6e}{d_c} + d_c\right) \leq \frac{2K + q_в\left(tg\,\varphi_{тр} + \frac{1}{\cos\varphi_{тр}}\right)}{\frac{1}{\cos\varphi_{тр}} - \frac{1}{tg\,\varphi_{тр}}} \; ; \tag{33}$$

$$\frac{2H_0 - \sigma_{max} d_c}{2d_c} \leq \frac{2K + \left(\Sigma R_к + \Sigma R_в\right)\left(tg\,\varphi_{тр} + \frac{1}{\cos\varphi_{тр}}\right)}{\frac{1}{\cos\varphi_{тр}} - \frac{1}{tg\,\varphi_{тр}}} \quad . \tag{34}$$

Эти выражения после подстановки в них численных значений дают возможность определить несущую способность породного свода $q_н$ тс/м.

Для того чтобы определить коэффициент запаса прочности породного свода, необходимо найти расчетную нагрузку на породный свод $q_в$ с учетом смещений контура $U_{tв}$ за период до установки анкерной крепи.

Смещения $U_{tв}$ определяются из выражения

$$t_в = \frac{0{,}3\,U^3_{tв}}{U - U_{tв}} \; , \tag{35}$$

где U – смещение свободного контура выработки за время эксплуатации крепи, определяется по графикам на рис. 16,17, см;

$t_в$ – время от момента проходки до установки анкерной крепи. Для комбинированных крепей рекомендуется отставание анкерной крепи от забоя не более 10 м. При скорости проходки выработки в сутки V

$$t_в = \frac{L}{V} \quad , \text{сут} \qquad (36)$$

Зная n, $U_{tв}$, по графикам на рис. 16, 17 найдем значение $q_в$.

При $q_н > q_в$ свод будет находиться в устойчивом состоянии.

5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ

5.1. Пример 1.

Выработка капитальная двухпутевая из типового проекта Центрогипрошахта 401-11-53, лист.ТС-7 [1]. Сечение в свету до осадки 12,9 м^2, сечение в проходке 15,4 м^2.

Выработка пройдена по однородным породам с пределом прочности на сжатие 7000 тс/м^2, коэффициент структурного ослабления γ = 0,5; коэффициент длительной прочности ξ = 0,8; коэффициент, учитывающий снижение прочности за счет обводненности, K_2 = 0,8; средний объемный вес пород γ = 2,5 тс/м^3; глубина заложения выработки H = 500 м; коэффициент концентрации напряжений K_1 = 2,5; коэффициент бокового отпора λ = 0,5; количество рам на 1 м выработки $n_р$ = 1,0.

$$R_{ср} = R \cdot \gamma \cdot \xi \; K_2 = 7000 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8 = 2240 \text{ тс/м}^2 .$$

По формуле (1)

$$n = \frac{R_{ср}}{\gamma H K_1} = \frac{2240}{2{,}5 \cdot 500 \cdot 2{,}5} = \frac{2240}{5120} = 0{,}72 \cdot$$

По классификационной табл. № I определяем, что при $0,7 < n < I$ имеет место второй класс условий работы, т.е. над выработкой образуется свод обрушения высотой (6)

$$h_c = R_o\left(\frac{2\gamma H}{R_{cp} - \gamma H(1-\lambda)} - 1\right) =$$

$$= 2,47\left(\frac{2 \cdot 2,5\ 500}{2240 - 2,5 \cdot 500(1-0,5)} - 1\right) =$$

$$= 2,47\ (1,53 - 1) = 1,36\ м\ .$$

Длина анкера

$$l_a = 0,5 \cdot h_{cв} + 0,5 + 0,1 = 0,5 \cdot 1,36 + 0,6 = 1,27\ .$$

Принимаем l_a = I,8 м.

Вертикальная нагрузка от обрушающихся пород в кровле выработки (5)

$$q_в = 0,288\sqrt{S_{св}}\left(\frac{2\gamma H}{R_{cp} - \gamma H\ (1-\lambda)} - 1\right) \ln \frac{t}{0,88} =$$

$$= 0,288\sqrt{12,9}\left(\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 500}{2240 - 2,5 \cdot 500\,(1-0,5)} - 1\right) \cdot$$

$$\cdot \ln \frac{3000}{0,88} = 1,03\,(1,55 - 1) \cdot 8,13 = 4,60\ тс/м^2.$$

Количество анкеров на I м выработки определяем из выражения (9):

$$n_a = \frac{q_в B - R_к n_р}{R_{ас}}\ .$$

Принимаем крепь из СВП-I7, тогда по табл. 206 несущая

способность крепи $R_к$ = 15 тс [4, 16].

Несущая способность замка анкера типа АК-8 или ШК-1 ∅ 20 мм в соответствии с исследованиями КузНИУИ [21] составляет

$$R_{аз} = \frac{3f}{0,2f+1} = \frac{3 \cdot 7}{0,2 \cdot 7+1} = 8,7 \text{ тс} . \qquad (37)$$

Несущая способность стержня анкера

$$R_{ас} = F_а \cdot \sigma_т = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 2100 = 6 \text{ тс} . \qquad (38)$$

Окончательно принимаем $R_а$ = 6 тс.

Тогда

$$n_а = \frac{4,60 \cdot 4,64 - 15 \cdot 1}{6} = \frac{6,34}{6} = 1,06 \approx 2 .$$

Принимаем два анкера на I м выработки.

В окончательном виде паспорта крепления однопутевой и двухпутевой выработок комбинированной анкер-металлической крепью при $n > 0,7$ приведены в приложениях 2 и 3.

5.2. Пример 2.

Условия те же, что и в примере I, но выработка находится в зоне влияния очистных работ.

Коэффициент влияния K_{B_2} = 2,4 определен по графикам на рис. 14, 15.

Тогда

$$n = \frac{7000 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,8}{2,5 \cdot 500 \cdot 2,5 \cdot 2,4} = 0,29 .$$

При $0,2 < n < 0,7$ вокруг выработки образуется область неупругих деформаций и в этом случае в соответствии с § 4 используется расчетная схема, изображенная на рис. 19.

Толщину породной арки определим по формулам (I0) и (II)

$$d_c = \frac{[R_0 + (l_a - 0{,}15)] \sin \varphi_n}{\sin(\psi + \varphi_n)} - R_0;\ \psi = \frac{\varphi}{n}.$$

Зададимся величиной $n_a = 5$ (пять анкеров в поперечном ряду). Центральный угол анкерования кровли 2φ обычно принимают 120^0, длину анкера примем 2,2 м, $\varphi_n = 45^0$.

Тогда

$$\psi = 12^0;$$

$$d_c = \frac{2{,}47 + (2{,}2 - 0{,}15) \sin 45^0}{(12^0 + 45^0)} - 2{,}47 =$$

$$= \frac{(2{,}47 + 2{,}05) \cdot 0{,}707}{0{,}84} - 2{,}47 = 1{,}33 \text{ м}$$

Пролет породной арки по средней линии определим по формуле (I2).

$$l_p = 2\left(R_0 + \frac{d_c}{2}\right) \sin \varphi = 2\left(2{,}47 + \frac{1{,}33}{2}\right) \cdot$$

$$\sin \frac{120}{2} = 2 \cdot 3{,}13 \cdot 0{,}866 = 5{,}42 \text{ м}$$

Стрела подъема породного свода по средней линии (I3)

$$h_{cp} = \left(R_0 + \frac{d_c}{2}\right)(1 - \cos \varphi) = \left(2{,}47 + \frac{1{,}33}{2}\right)(1 - \cos 60^0) =$$

$$= 3{,}13 \cdot 0{,}5 = 1{,}56 \text{ м};$$

$$r_{cp} = 2{,}47 + \frac{1{,}33}{2} = 3{,}13 \text{ м}$$

Материал породной арки можно рассматривать как среду, не обладающую сцеплением, с углом внутреннего трения $\varphi_{тр} = 30^0$.

Однако за счет сопротивления анкеров на срез и появления сил трения на контактах разрушений при натяжении анкеров появятся дополнительные силы сцепления.

Сопротивление анкеров на срез

$$K_{Ma} = \frac{(\Sigma F_a)\,\tau_{cp}}{1000}, \qquad (39)$$

при установке I анкера ∅ 20 мм на I м^2

$$K_{Ma} = \frac{3{,}14 \cdot 2100}{1000} = 6{,}59 \text{ тс/м}^2$$

Приняв натяжение анкера R_H =5т, коэффициент трения $f_{тр}$ = 0,7, найдем

$$K_{MT} = N R_H \cdot f_{тр.} = 1 \cdot 5 \cdot 0{,}7 = 3{,}5 \text{ тс/м}^2 \qquad (40)$$

Окончательно получим

$$K = K_{Ma} + K_{MT} = 6{,}59 + 3{,}5 = 10{,}09 \text{ тс/м}^2 \qquad (41)$$

Усилия в арке найдем, пользуясь методом сил.

Исходные данные: $\varphi = 60^0$; d_c=1,33 м; $\tau_{cp.}$ = 3,13 м.

Нагрузка вертикальная, равномерно распределенная, интенсивностью q т/м.

Положение упругого центра найдем по формуле

$$C_y = \frac{h_c}{3}(\beta_0' + \beta_0'') = \frac{1{,}56}{3}(1{,}045 + 0{,}017) = 0{,}552 \qquad (42)$$

Коэффициенты канонических уравнений

$$\delta_{11} = 2\tau_{cp}\varphi = 2 \cdot 3{,}13 \cdot \frac{3{,}14}{3} = 6{,}552$$

$$\delta_{22} = 2\tau_{cp}^3\varphi K_0 = 2 \cdot 3{,}13^3 \cdot \frac{3{,}14}{3} \cdot 0{,}03 = 1{,}926 \qquad (43)$$

$$K_0 = K_1\left[1 + \frac{1}{12}\left(\frac{d_c}{r_{cp}}\right)^2\right] - K_2\left(\frac{c_y}{r_{cp}}\right) - K_3 =$$

$$= 0{,}707\left[1 + \frac{1}{12}\left(\frac{1{,}33}{3{,}13}\right)^2\right] - 0{,}173\left(\frac{0{,}552}{3{,}13}\right) - 0{,}655 = 0{,}03,$$

$$K_2 = 1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi} = 1 - \frac{0{,}866 \cdot 3}{3{,}14} = 0{,}173\ ;$$

$$K_1 = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\varphi}\right) = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{0{,}866 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}3}{3{,}14}\right) = 0{,}707;$$

$$K_3 = \frac{2\sin\varphi}{\varphi} - 1 = \frac{3 \cdot 2 \cdot 0{,}866}{3{,}14} - 1 = 0{,}655\ ;$$

$$K_4 = \left(1 - \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\varphi}\right) = \left(1 - \frac{0{,}866 \cdot 0{,}5 \cdot 3}{3{,}14}\right) = 0{,}586\ ;$$

$$\delta_{33} = r_{cp}^3\,\varphi\,K_4\left[1 + \left(\frac{d_c}{r_{cp}}\right)^2\frac{1}{12}\right] = 3{,}13^3\,\frac{3{,}14}{3} \cdot 0{,}586\left[1 + \left(\frac{1{,}33}{3{,}13}\right)^2\frac{1}{12}\right] =$$

$$= 19{,}09$$

$$\delta_{1p} = -\frac{q\,r_{cp}^3}{2}\,\varphi\,K_4 = -\frac{q \cdot 3{,}13^3}{2} \cdot \frac{3{,}14}{3} \cdot 0{,}586 = -9{,}404\,q,$$

$$\delta_{2p} = -\frac{q\,r_{cp}^4}{6}\,\varphi\,K_5 = -\frac{q \cdot 3{,}13^4}{6} \cdot \frac{3{,}14}{3} \cdot 0{,}207 = -3{,}466\,q;$$

$$K_5 = 3\,K_4\left(1 - \frac{c_y}{r_{cp}}\right) - 2\,\frac{\sin^3\varphi}{\varphi} = 3{,}0 \cdot 0{,}586\left(1 - \frac{0{,}552}{3{,}13}\right) -$$

$$- 2 \cdot \frac{0{,}866^3 \cdot 3}{3{,}14} = 0{,}207$$

Находим неизвестные усилия, приложенные в упругом центре:

$$M_1^o = -\frac{\delta_{1p}}{\delta_{11}} = -\frac{-9{,}404\,q}{6{,}552} = 1{,}435\,q\ ,$$

$$H_2^o = -\frac{\delta_{2p}}{\delta_{22}} = -\frac{-3{,}466\,q}{1{,}926} = 1{,}799\,q;$$

Усилия в замке свода

$$M_o = M_1^o - c_y H_2^o = 1{,}435\,q - 0{,}552 \cdot 1{,}799\,q = 0{,}442\,q;$$

$$H_o = H_2^o = 1{,}799\,q;$$

Усилия от боковой нагрузки

$$\delta_{1p} = -\frac{q_\delta r_{cp}^3}{2}\varphi K_9 = -\frac{q_\delta \cdot 3{,}13^3}{2}\cdot\frac{3{,}14}{3}\cdot 0{,}105 = -1{,}685\, q_\delta ,$$

$$K_9 = 3-4\frac{\sin\varphi}{\varphi} + \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\varphi} = 3-4\ \frac{0{,}866\cdot 3}{3{,}14} + \frac{0{,}866\cdot 0{,}5\cdot 0{,}3}{3{,}14} = 0{,}105,$$

$$\delta_{2p} = -\frac{q_\delta r_{cp}^4}{6}\varphi\cdot K_{11} = -\frac{q_\delta 3{,}14^4}{6}\cdot\frac{3{,}14}{3}\cdot 0{,}053 = -0{,}887\, q_\delta ;$$

$$K_{11} = 3\left(1-\frac{c_y}{r_{cp}}\right)K_9 - 2K_{10} = 3\left(1-\frac{0{,}552}{3{,}13}\right)0{,}105 - 2\cdot 0{,}103 = 0{,}053,$$

$$K_{10} = 6\frac{\sin\varphi}{\varphi} - 3\frac{\sin\varphi\cos\varphi}{\varphi} - \frac{\sin^3\varphi}{\varphi} - 3 =$$

$$= 6\cdot\frac{0{,}866\cdot 3}{3{,}14} - 3\ \frac{0{,}866\cdot 0{,}5\cdot 3}{3{,}14} - \frac{0{,}866^3\cdot 3}{3{,}14} - 3 = 0{,}103 ;$$

Неизвестные усилия, приложенные в упругом центре

$$M_1^0 = -\frac{\delta_{1p}}{\delta_{11}} = -\frac{-1{,}68\, q_\delta}{6{,}552} = 0{,}257\, q_\delta ;$$

$$H_2^0 = -\frac{\delta_{2p}}{\delta_{22}} = -\frac{-0{,}887 q_\delta}{1{,}926} = 0{,}460\, q_\delta ,$$

Усилия в замке свода

$$M_0 = M_1^0 - c_y H_2^0 = 0{,}257 q_\delta - 0{,}552\cdot 0{,}460 q_\delta = 0{,}003\, q_\delta ,$$

$$H_0 = H_2^0 = 0{,}460\, q_\delta ;$$

Результирующие усилия в замке свода при $q = q_\delta$

$$M_0 = 0{,}442\, q + 0{,}003\, q_\delta = 0{,}445\, q$$

$$H_0 = 1{,}799\, q + 0{,}460 q_\delta = 2{,}259 q$$

Эксцентриситет приложения продольных сил

$$e = \frac{M_0}{H_0} = \frac{0{,}445 q}{2{,}25 q} = 0{,}197 ;$$

Эксцентриситет не превышает размеров ядра сечения

$$e_я = \frac{d_c}{6} = \frac{1{,}33}{6} = 0{,}22 > 0{,}197 ;$$

поэтому растягивающие напряжения отсутствуют.

Наибольшее сжимающее напряжение в сечении свода

$$\sigma_{max} = \frac{H_0}{d_c}\left(\frac{6e + d_c}{d_c}\right) \qquad (44)$$

должно быть равно или меньше предельной несущей способности массива, образующего породную арку со стороны окружающих выработку пород, т.е.

$$\frac{H_0}{d_c}\left(\frac{6e+d_c}{d_c}\right) = \frac{2K + q_в\left(tg\,\varphi_{тр} + \frac{1}{\cos\varphi_{тр}}\right)}{\frac{1}{0,866} - 0,577}; \qquad (45)$$

Подставив значение, получим

$$\frac{2,259\,q_в}{I,33}\left(\frac{6\cdot0,197+I,33}{I,33}\right) = \frac{2\cdot I0,09 + q_в\left(0,577 + \frac{I}{0,566}\right)}{\frac{I}{0,866} - 0,577},$$

$$I,698\,q_в(I,89) = \frac{20,I8 + I,73\,q_в}{0,577}$$

$$3,21\,q_в = \frac{20,I8+I,73\,q_в}{0,577}; \quad q_в = \frac{20,I8}{0,I25} = I6I,44 тс/м$$

Фактическую нагрузку на грузонесущий свод определим с учетом смещений за время до установки анкерной крепи.

При скорости проходки выработки 2 м в сутки и отставании анкерной крепи на I0 м время поддержания выработки до установки анкерной крепи

$$t_в = \frac{I0}{2} = 5 \text{ сут.}$$

Смещение определим методом подбора по формуле

$$t_в = \frac{0,3\,U_{tв}^3}{U - U_{tв}}; \quad t_в = 5 \text{ сут.} \qquad (46)$$

Подставив значения в формулу (46), получим

$$5 = \frac{0,3\,U_{tв}^3}{40 - U_{tв}}, \quad \text{откуда} \quad U_{tв} \approx 8,5 \text{ см.}$$

По графику на рис. I6, I7 для U_{ts} = 8,5 см и n = 0,3 найдем нагрузку на свод q = 70 тс/м.

Таким образом

$$q_в = 161 \text{ тс/м} > q = 70 \text{ тс/м}$$

Коэффициент запаса прочности

$$K_з = \frac{161}{70} = 2,3$$

что вполне обеспечивает длительную эксплуатацию выработки.

В окончательном виде паспорта крепления однопутевой и двухпутевой выработок комбинированной анкер-металлической крепи при $n < 0,7$ приведены в приложениях 4 и 5.

6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ

Разработанная конструкция крепи предназначена для крепления капитальных горных выработок взамен металлической арочной крепи из спецпрофиля с железобетонной затяжкой. Применение комбинированной анкер-металлической крепи позволяет снизить трудоемкость возведения крепи, расход металла и в целом стоимость сооружения выработок.

За базу для сравнения принимается трехзвенная металлическая арочная крепь с железобетонной затяжкой с установкой двух рам на I м выработки (при $L_р$ = 0,5 м), металлические рамы комбинированной крепи устанавливаются через $L_р$ = 0,8 и I м. Расчет затрат на крепление I м горной выработки по сравниваемым вариантам приведен в приложении 6.

Расчеты расхода металла на крепление I м горной выработки по сравниваемым вариантам представлены в приложении 7.

7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКЕ КРЕПИ

Проведение работ по сооружению горных выработок с комбинированной анкер-металлической крепью необходимо производить в полном соответствии с "Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах" и настоящей инструкцией.

Бурение скважин и установку анкер-металлической крепи производить в соответствии с разработанным паспортом крепления.

Установку анкеров производить после установки арок металлической крепи и затяжки на расстоянии, не превышающем 5-10 м от забоя. При этом наружные концы стержней должны выходить за внутренний контур крепи. Отклонение проектных размеров установки анкеров в продольном и поперечном направлениях не должно превышать 10 мм.

Все анкера должны иметь предварительное натяжение с усилием не менее 3 тс. В случае некачественного закрепления анкера и плохого его натяжения рядом с ним устанавливается новый анкер.

Перед установкой очередных анкеров необходимо проверить натяжение предыдущих и произвести затягивание гаек, если обнаружено, что они слабо затянуты.

При использовании химических веществ для закрепления анкеров запрещается работать без защитных очков и рукавиц, применять ампулы с истекшим гарантийным сроком, а также производить затяжку гаек до истечения срока, отвердения закрепляющего состава.

Контроль за качеством установки анкеров осуществляется лицами технического надзора в соответствии с правилами безопасности.

К работам по возведению крепи допускаются горнорабочие, ознакомленные с паспортом крепления и проведен инструктаж о правилах ее установки и эксплуатации.

Л И Т Е Р А Т У Р А

I. Сечение горных выработок, закрепленных металлической арочной крепью из взаимозаменяемого профиля для условий Кузбасса (типовой проект 40I-II-53). М.,I975 (Центрогипрошахт).

2. Мельников Н.И. Проведение и крепление горных выработок. М., "Недра", I979.

3. Отраслевая инструкция по применению металлических, сборных железобетонных и анкерных крепей в подготовительных выработках угольных и сланцевых шахт. М., I973.

4. Временная инструкция по применению армополимерной анкерной крепи в подготовительных и очистных выработках Кузбасса. Новокузнецк, I973.

5. Временная инструкция по применению анкерной крепи в очистных забоях при выемке мощных крутых пластов полосами по простиранию с гидрозакладкой. Прокопьевск, I977.

6. Инструкция по проектированию крепей капитальных горных выработок для условий угольных шахт Кузбасса. Кемерово, I978.

7. ФИСЕНКО Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработки. М., "Недра", I976.

8. Требования по нормативам объемов, видов и методов испытаний механических свойств горных пород при строительстве угольных шахт. Л., I973 (ВНИМИ).

9. БУЛЫЧЕВ Н.С., АМУСИН Б.З., ОЛОВЯННЫЙ А.Г. Расчет крепи капитальных горных выработок. М., "Недра", I974.

I0. КИМ Д.Н. Исследование структурного ослабления трещиноватых пород моделированием прочностных свойств в лабораторных условиях. – В кн.: "Вопросы исследования горного давления и сдвижения пород". М., I963.

II. ЗОТЕЕВ В.Г. Изучение влияния направленности и интенсивности трещиноватости на прочностные свойства скальных массивов. – Труды Всегингео, вып. 2I. М., I969.

I2. КАЦАУРОВ И.Н. Горное давление. М., "Наука", I972.

I3. МАТВЕЕВ Б.В. Исследования объемной прочности и деформационных характеристик горных пород при объемных нагрузках. – В кн.: "Исследование физико-механических свойств горных пород применительно к задачам управления горным давлением". М., I962.

I4. ЕРОФЕЕВ Л.М. Прогнозирование проявлений горного давления для горизонтальных горных выработок при условиях образования свода устойчивых равновесий. – "Строительство предприятий угольной промышленности", I977, № 7.

I5. ЕРОФЕЕВ Л.М. Экспериментально-теоретический метод прогнозирования проявлений горного давления. – "Строительство предприятий угольной промышленности", I977, № 8.

I6. Справочник инженера-шахтостроителя. М., "Недра", I972.

I7. ШИРОКОВ А.П., ЛИДЕР В.А., ПИСЛЯКОВ Б.Г. Расчет анкерной крепи для различных условий применения. М., "Недра", I976.

I8. БОРИСОВ А.А. Новые методы расчета штанговой крепи. М., Госгортехиздат, I962.

I9. ДАВЫДОВ С.С. Расчет и проектирование подземных конструкций. М., Стройиздат, I950.

20. ЛИБЕРМАН Ю.М. Давление на крепь капитальных выработок. М., "Наука", I969.

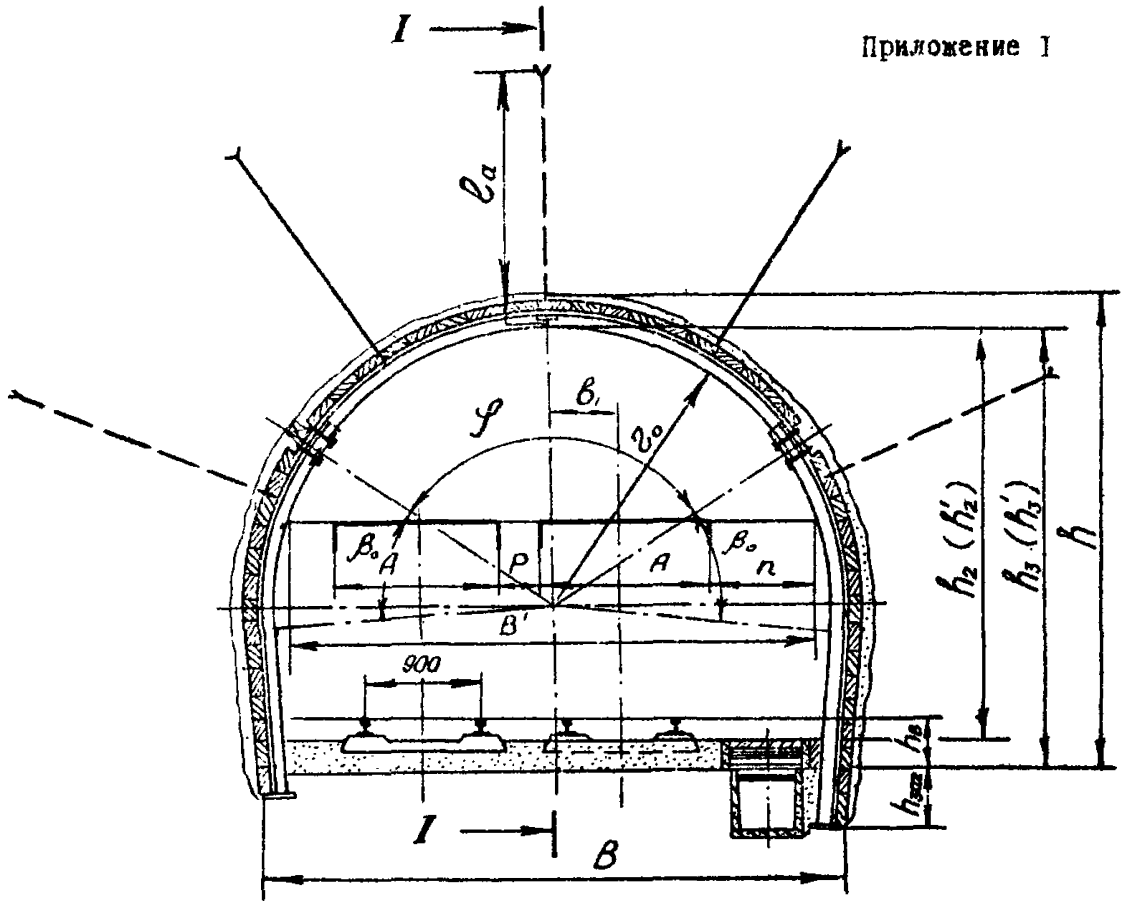
2I. Инструкция по применению металлической рамной и анкерной крепей на шахтах Кузбасса. Прокопьевск, I973.

22. Сборник № 40 единых районных единичных расценок на горнопроходческие работы, привязанных к местным условиям Кемеровской области. Книга I, Кемерово, I969.

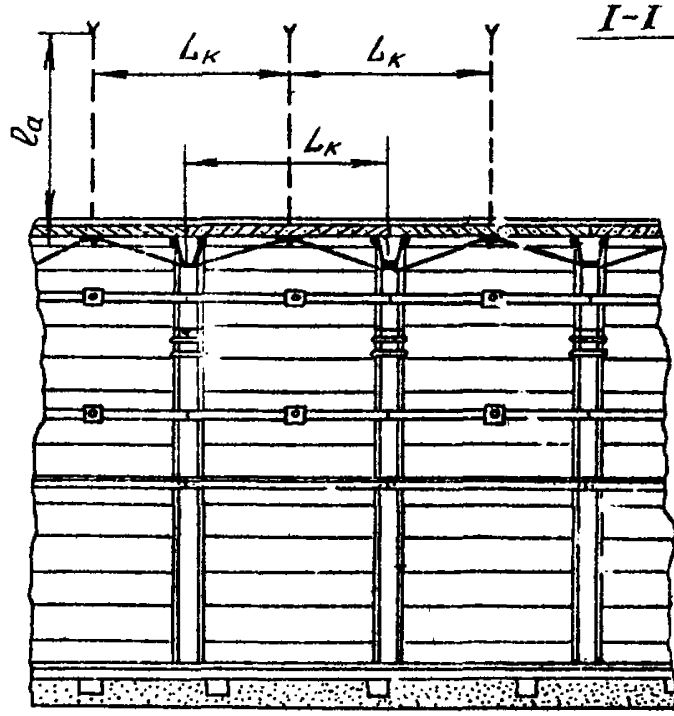
23. Дополнения и изменения к сборнику № 40 ЕРЕР на горнопроходческие работы, привязанному к местным условиям Кемеровской области и утвержденному МУП СССР для применения с I января I969 г.Вып. 3, Новосибирск, I976.

24. Ценник № I средних районных сметных цен на материалы, изделия и конструкции. Ч. I, М., I968.

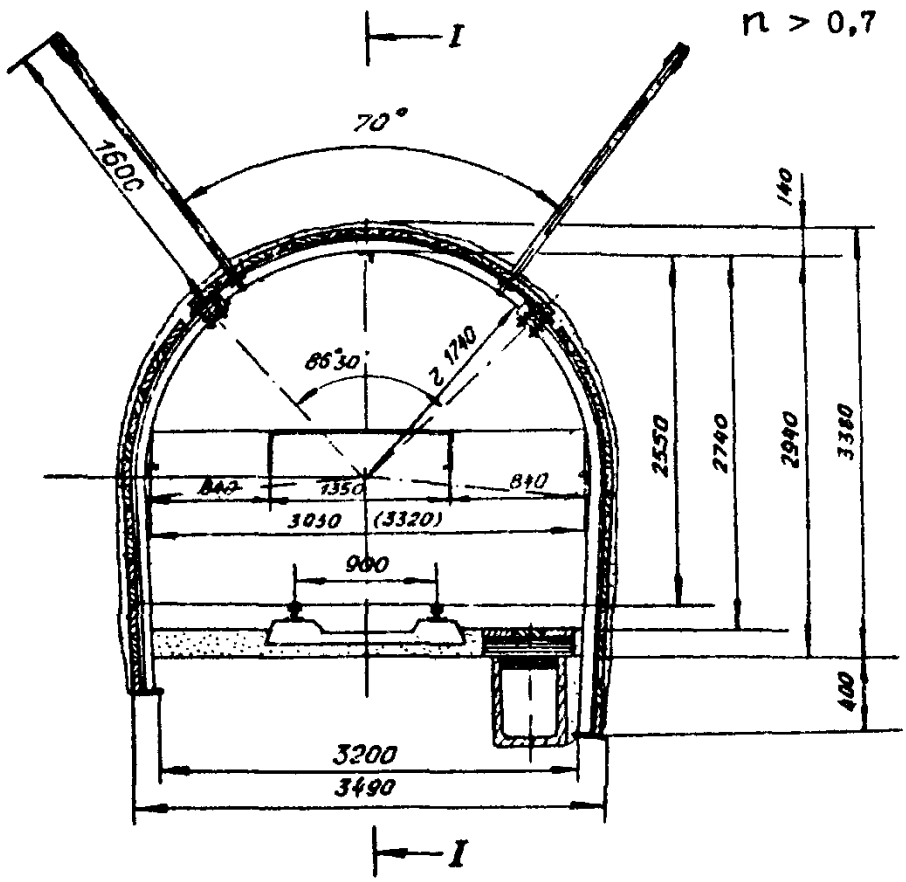
П Р И Л О Ж Е Н И Я

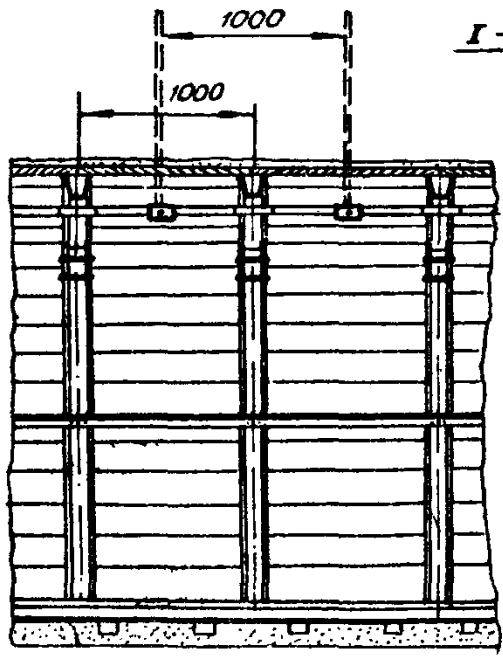


I-I

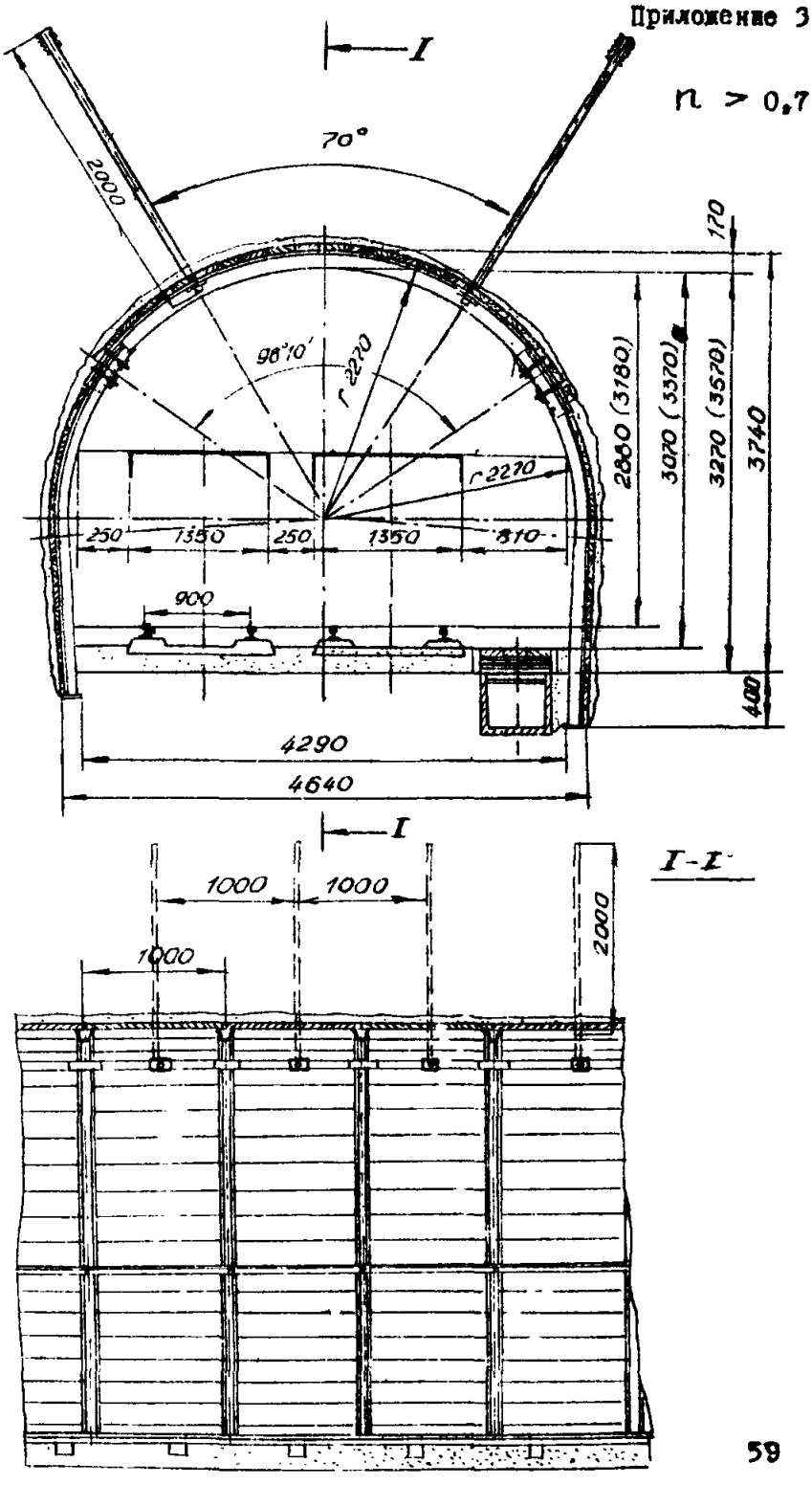


Приложение 2





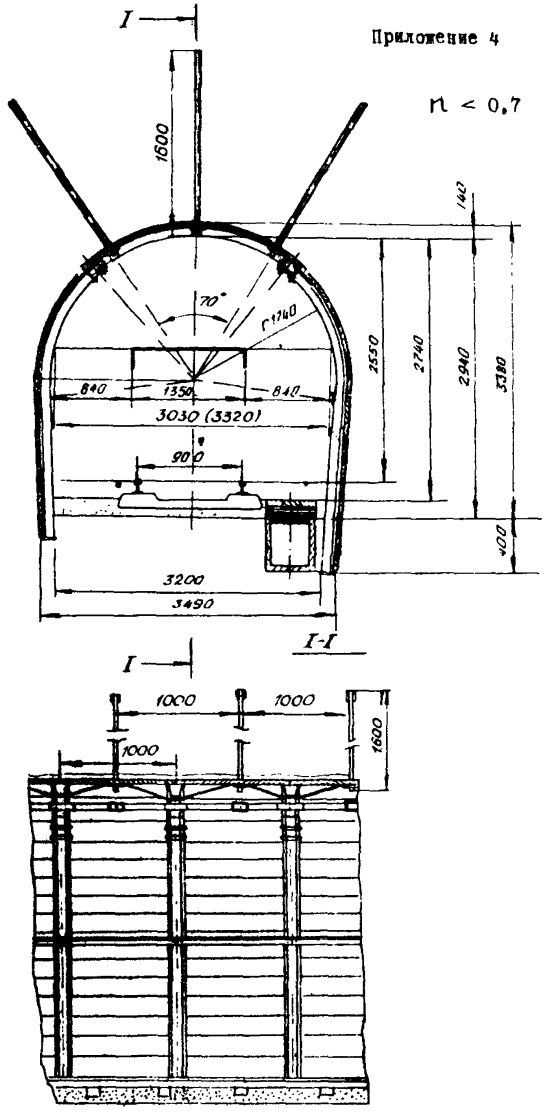
$n > 0,7$


I
70°
2000
170
98°10'
r 2270
r 2270
2830 (3180)
3070 (3370)
3270 (3570)
3740
250
1350
250
1350
810
900
400
4290
4640
I
1000
1000
1000
2000

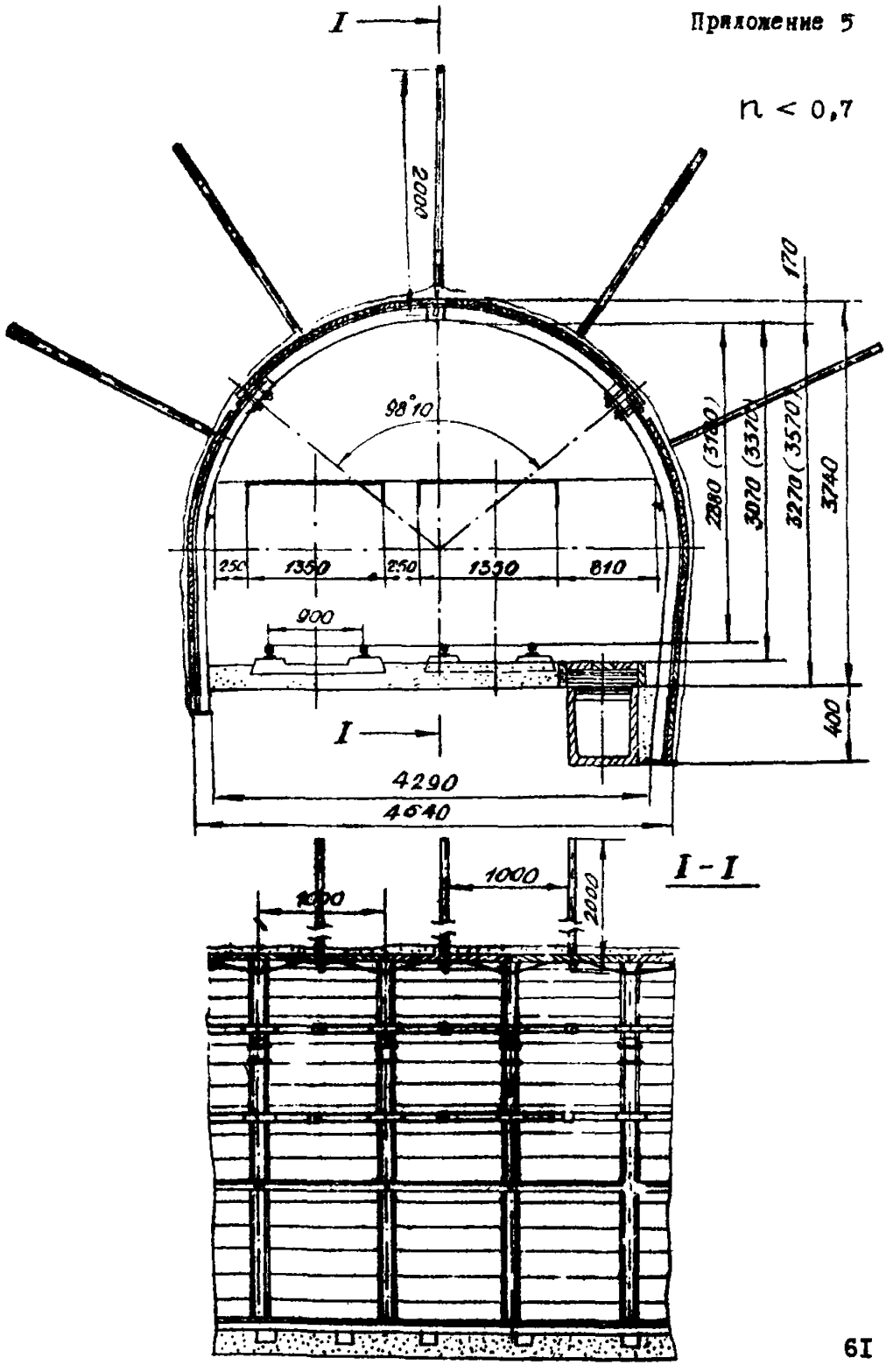
I-I

Приложение 4

$n < 0,7$



n < 0,7


I
2000
170
98°10
2880 (3180)
3070 (3370)
3270 (3570)
3740
250
1350
250
1330
810
900
400
4290
4640
I - I
1000
2000

Приложение 6

Р А С Х О Д

металла на крепление I м горной выработки по сравниваемым вариантам

Элементы крепи	Единицы измерения	Расход металла при металлической арочной крепи, L = 0,5 м	Расход металла при анкер-металлической крепи, L = 0,8 м	Расход металла при анкер-металлической крепи L = I,0 м
Количество рам на I м	шт.	2	I,25	I,0
Металлическая арочная крепь из СВП-27	т	0,732	0,457	0,366
Анкера	т	-	0,030	0,024
Межрамная стяжка	т	-	0,027	0,02I
И т о г о:		0,732	0,5I4	0,4II

ПРИМЕЧАНИЕ. Расход металла при изготовлении межрамных стяжек из полосы или круга примерно одинаков. Расчеты расхода металла производились на основании типового проекта 40I-II-53 [I]

Приложение 7

Р А С Ч Е Т

затрат на крепление I пог.м горной выработки по сравниваемым вариантам

$S_{св}$ = I4,5 м^2
f = 2 - 3

Обоснование	Ед. изм.	Объем работ	Стоимость едини., руб.	Наименование работ	Затраты при метал. арочной крепи, L = 0,5 м	Затраты при анкер-металлич. крепи, L = 0,8 м	Затраты при анкер-металлич. крепи, L = I,0 м
40-II37 [22]	тн	0,732	I86,3	Установка трехзвеньевых металлических арок	I36,4	-	-
40-II37	"	0,457	I86,3	То же	-	85,I	-
40-II37	"	0,366	I86,3	-"-	-	-	68,2
40-II72	м^3 ж/б плит	0,29	II7,2	Затяжка кровли железобетонными плитами	34,0	34,0	34,0
40-II73	"	0,24	II4,8	Затяжка стен железобетонными плитами	27,6	27,6	27,6
40-I445Д [23]	к-т	2	9,5	Установка штанг постоянного крепления в стены при длине штанг 2 м	-	I9,0	I9,0
40-I439Д	"	2	3,II	Установка штанг постоянного крепления в кровле при длине штанг 2,0 м	-	6,22	6,22
Расчет [24]				Установка межрамных стяжек	-	3,37	3,37
				ИТОГО на I пог. м	I98,0	I75,29	I58,39

Приложение 8

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КРЕПИ ИЗ СПЕЦПРОФИЛЯ

Ширина крепи в свету, м	2,49	2,85	3,02	3,17	3,42	3,83	4,33	4,78	4,88
Предельная несущая способность крепи, т	25	22	21	20	28	25	30	27	26
Номер С В П	I7				22		27		

622.281.76

Инструкция по применению и проектированию комбинированной анкер-металлической крепи конструкции Кузниишахтостроя (АМК). Кемерово, 1980, 63 с., (Институт "Кузниишахтострой").

Дано описание конструкции крепи, ее технические характеристики, условия и область применения, расчет крепи, технология и организация работ при установке крепи.

Приведено описание конструкций анкеров и межрамных стяжек, используемых при возведении анкер-металлической крепи.

В приложении приведены типовые паспорта крепления комбинированной крепью одно- и двухпутевых выработок при различных значениях коэффициента устойчивости контура, расчеты затрат на крепление 1 м горной выработки по сравниваемым вариантам.

Ключевые слова: капитальная горная выработка, анкер-металлическая крепь, коэффициент устойчивости, железобетонный анкер, межрамная стяжка, инъектирование раствора, нагрузка на крепь.

И Н С Т Р У К Ц И Я

ПО ПРИМЕНЕНИЮ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОМБИНИРОВАННОЙ АНКЕР-МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ КОНСТРУКЦИИ КУЗНИИШАХТОСТРОЯ (АМК)

Ответственные за выпуск: Мирошникова Л.А., Попов И.Н.
Корректор Ильичева А.П.

Подписано в печать 23.10.80г. Формат 60х90 1/16.
Объем 4,1 п.л. Тираж 1500 экз. Цена 35 коп. Заказ № 43

Ротапринт института "Кузниишахтострой", Кемерово, 1980

gost.e-ecolog.ru