МЕТОДИКА

РАСЧЕТА И ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ НА СОПРЯЖЕНИЯХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОДИНАРНОЙ И ПАРНОЙ ПОДГОТОВКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ

С.-Петербург
2004

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА –
МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВНИМИ"

УТВЕРЖДЕНА

Департаментом
угольной промышленности
Минэнерго России
16. 01. 2003 г.

МЕТОДИКА

РАСЧЕТА И ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ НА СОПРЯЖЕНИЯХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОДИНАРНОЙ И ПАРНОЙ ПОДГОТОВКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ

С.-Петербург
2004

УДК 622.284.74:622.273.23

Методика расчета и выбора параметров крепи на сопряжениях горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов. – СПб., 2004. – 84 с. (М-во пром-сти и энергетики РФ. РАН. ФГУП "Гос. науч.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ).

Методика регламентирует выбор места расположения, порядок расчета и выбора крепей сопряжений вскрывающих, подготавливающих и выемочных выработок угольных шахт при одинарной и парной подготовке выемочных столбов. Приведены методы расчета смещений пород и нагрузок на крепь и определения параметров крепи сопряжений при проектировании, строительстве и эксплуатации угольных шахт РФ. Решения, принимаемые в соответствии с положениями настоящей Методики, должны удовлетворять отраслевым правилам безопасности, технической эксплуатации и другим нормативным документам по безопасному ведению горных работ на угольных шахтах.

С введением Методики в действие отменяются ранее разработанные бассейновые нормативные документы по расчету крепи сопряжений горных выработок на угольных шахтах.

Методика является собственностью ВНИМИ и Министерства промышленности и энергетики РФ. Перевод ее на другие языки, тиражирование, переиздание, составление компьютерных программ и использование в производственной деятельности в странах СНГ и других государствах разрешается только на коммерческой основе.

Ил. 29, табл. 22, библиогр. 10.

Составители:

В. Н. Рева, В. А. Борисовец, М. А. Розенбаум, В. В. Райский, Ю. П. Коренной, В. И. Аксененко, С. И. Калинин, Т. И. Лазаревич, А. А. Привалов, Ю. Н. Долоткин, А. В. Борисов, С. А. Толмачев, Н. Т. Бедарев, А. Б. Соколов, Д. В. Сидоров, В. Р. Ногих, В. Н. Фрянов, П. В. Васильев

ISBN 5-902531-02-0

© Федеральное государственное унитарное предприятие "Государственный научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ". 2004.

ВВЕДЕНИЕ

Важная роль в повышении эффективности производства, безопасности работ и роста добычи угля отводится совершенствованию способов и средств крепления сопряжений вскрывающих, подготавливающих и выемочных выработок различного назначения. Работы по вскрытию, подготовке и отработке угольных пластов ведутся как на больших глубинах, так и на незначительном удалении от дневной поверхности, как правило, на вновь осваиваемых месторождениях. При этом горно-геологические условия на шахтах изменяются в довольно широком диапазоне. Поддержание горных выработок и их сопряжений в эксплуатационном состоянии часто затруднено из-за недостаточно обоснованного выбора схем их расположения, несоответствия применяемых типов крепи, способов сооружения и охраны конкретным горно-геологическим и горно-техническим условиям.

Большое значение имеет организация работ по предотвращению расслоений пород вокруг сопряжений еще на стадии их сооружения. Особенно это важно при проходке и сбойке парных выработок и этапном проведении сопрягающихся выработок при их ответвлениях и пересечениях. На сопряжениях выработок с очистными забоями не полностью решены вопросы по снижению трудоемкости вспомогательных работ, связанных с демонтажем элементов рамной крепи и их восстановлением, установкой и передвижкой крепи усиления и др. Все эти непроизводительные затраты сил и средств сказываются на эффективности работы лав.

Широкое разнообразие горно-геологических и горно-технических условий при сооружении и поддержании сопряжений горных выработок требует применения различных видов крепи в зависимости от их назначения, расположения, размеров и сроков эксплуатации. Поэтому решающее значение приобретают работы, направленные на обоснование и выбор рациональных параметров крепи сопряжений для всего многообразия горных выработок, обеспечивающие их надежное и безремонтное поддержание не только в обычных, но и в сложных условиях.

В разработанных и действующих нормативных, нормативно-методических и методических документах [1–8] вопросы крепления, охраны и поддержания сопряжений рассмотрены недостаточно полно и поэтому требуют более детальной проработки. Отсюда возникает ряд горно-геомеханических и технологических затруднений при решении производственно-технических задач по проектированию и сооружению этих ответственных узлов вскрывающих, подготавливающих и выемочных выработок. Особое внимание заслуживает новая технология крепления сопряжений горных выработок сталеполимерной анкерной крепью, нашедшая широкое распространение в зарубежной практике. Мировой опыт показывает, что именно такая технология позволяет безопасно, надежно и экономично сооружать и поддерживать сопряже-

ния горных выработок в самых разных условиях, обеспечивая при этом высокие темпы их проходки.

Основная задача Методики – развивая действующие нормативы, установить единые подходы и положения по определению параметров крепи сопряжений горных выработок, проводимых и поддерживаемых вне зоны и в зоне влияния очистных работ различными видами крепи, в том числе и сталеполимерными анкерами по прогрессивной технологии, которым следует отдавать большее предпочтение.

Положения, принятые в методике, научно обоснованы и прошли опытно-промышленную проверку на угольных шахтах основных бассейнов страны.

Настоящая Методика по расчету и выбору параметров крепи на сопряжениях горных выработок разработана ВНИМИ, его филиалами и представительствами при участии специалистов ПечорНИИпроекта и производственников угольных компаний и шахт. Она регламентирует крепление и поддержание сопряжений горных выработок различными видами крепи во всех типичных для шахт условиях. Это позволяет решить проблему коренного повышения эффективности и безопасности работ на шахтах России.

1. ОБЛАСТЬ И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. Настоящая Методика предназначена для расчета и выбора параметров крепи на сопряжениях горизонтальных и наклонных вскрывающих, подготавливающих и выемочных горных выработок при одинарной и парной подготовке выемочных столбов на шахтах России.

1.2. Методика распространяется на следующие геологические и горно-технические условия:

расположение сопряжений выработок в толще пород, имеющих расчетную прочность не менее 10 МПа, и угля – не менее 6 МПа;

угол залегания пород и пластов до 30°;

глубина расположения от земной поверхности до 1200 м;

мощность угольных пластов m свыше 0,55 м;

максимальный пролет сопряжений выработок в проходке 12 м;

расположение сопряжений выработок вне зоны и в зоне влияния очистных работ;

обычные способы проходки (без применения специальных способов).

1.3. Параметры крепи в условиях, отличающихся от приведенных в п.1.2, выбирают на основе рекомендаций ВНИМИ и других специализированных организаций, имеющих соответствующие лицензии.

1.4. Расчет и выбор параметров крепи в сложных условиях (при отнесении пород, окружающих выработки, к категории неустойчивых; при опасности горных ударов, выбросов угля, породы и газов; наличии водонасыщенных пористых пород и напорных горизонтов и др.) должны производиться с учетом дополнительных требований, предусмотренных для таких случаев соответствующими нормативными документами, или с привлечением специализированных научно-исследовательских институтов.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Под сопряжением одиночных выработок понимается область их взаимного влияния при соединении двух и более выработок в одну, ответвлении от основной выработки других, примыкании одной выработки к другой, пересечении выработок, а с очистным забоем – участки подготовительной выработки, находящиеся в створе с очистным забоем и примыкающие спереди и сзади него на протяжении 10 м.

2.2. Сопряжения одиночных горных выработок (рис. 1) подразделяются на прямоугольные (*а*) и остроугольные (*б*) пересечения, прямоугольные (*в*) и остроугольные (*г*) ответвления, ответвления по кривой (*д*), разветвления (соединения) под углом (*е*) и по кривым (*ж, з, и*), сопряжения "треугольный узел" (*к*), примыкания выработок (*л, м*). Область взаимного влияния сопрягающихся выработок определяют по прил. 1.

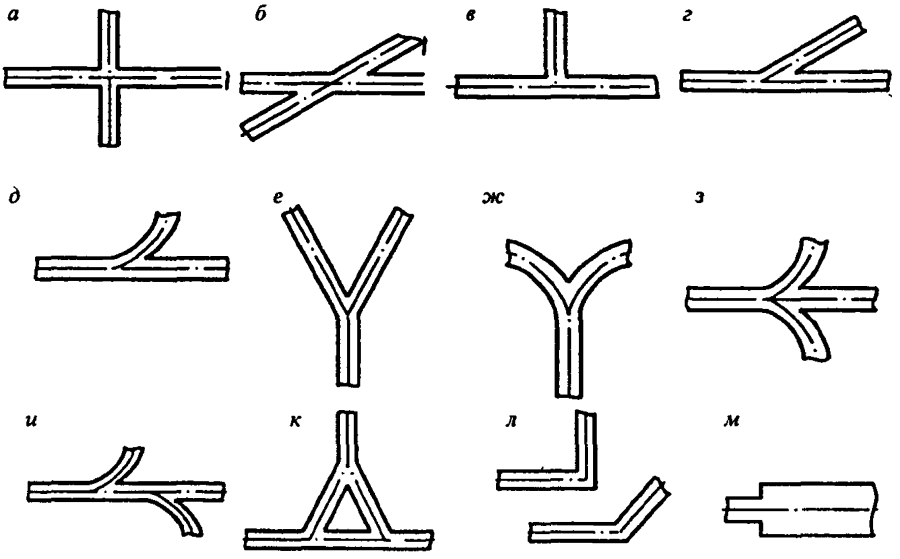


Рис. 1. Виды сопряжений горных выработок:

а – прямое пересечение; *б* – косое; *в* – прямое ответвление; *г* – остроугольное; *д* – ответвление по кривой; *е, ж* – соединения двух выработок в одну; *з* – двустороннее ответвление; *и* – то же, с разносом выработок; *к* – сопряжение трех выработок (треугольный узел); *л, м* – примыкание выработок

2.3. При парной подготовке выемочных столбов сопряжения выработок подразделяются (рис. 2) на прямоугольные (*а, в*) и остроугольные (*б*). Решения по проведению и поддержанию сопряжений при многоштрековой подготовке выемочных столбов принимаются на базе рекомендаций ВНИМИ или других специализированных научно-исследовательских институтов и организаций, имеющих соответствующие лицензии.

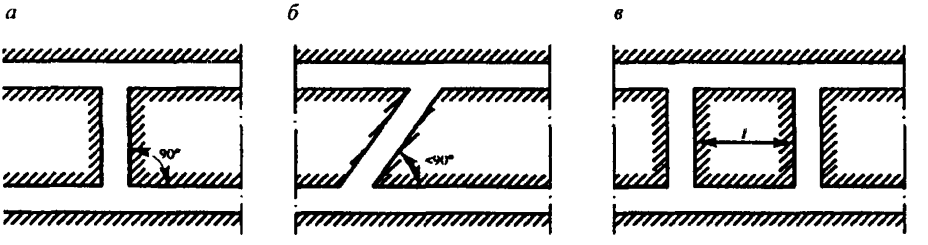


Рис. 2. Виды сопряжений при парной подготовке выемочных столбов:

а, в – прямоугольные; *б* – остроугольные

2.4. При проведении и поддержании парных выработок в условиях динамических проявлений горного давления (пласты, опасные по горным ударам, внезапным выбросам угля и газа) все работы по проходке сбоек между ними с определением безопасного расстояния засечки

сбойки до ближнего забоя проводимой выработки, принятию минимального опережения одного проходческого забоя относительного другого и расчету ширины податливого целика между выработками следует выполнять с учетом требований соответствующих нормативных документов, регламентирующих безопасные условия работы. При этом сбойку парных выработок и крепление их сопряжений допускается производить с отставанием от ближнего проходческого забоя на расстояние не менее $l' = 1{,}5(b_1+b_2+l_ц)$, где b_1, b_2 – соответственно ширина каждой парной выработки в проходке; $l_ц$ – ширина податливого целика между выработками, а опережение передового проходческого забоя по отношению к забою другой выработки должно быть не менее $l'' = 3(b_1+b_2+l_ц)$.

2.5. Сопряжения очистного забоя с подготовительной выработкой (рис. 3) подразделяются на:

– сопряжение с погашаемой выработкой;

– сопряжение с выработкой, сохраняемой за первым очистным забоем;

– сопряжение с повторно используемой выработкой;

– сопряжение с выработкой, проводимой вприсечку к выработанному пространству (при сплошной присечке или при оставлении полосы угля шириной 2–4 м);

– сопряжение с выработкой, охраняемой целиком шириной меньше $0{,}1H$, но не менее 15 м;

– сопряжение с выработкой, охраняемой целиком $(2{,}5...3)m$ (при погашении одной из парных выработок за лавой или при ее временном сохранении для целей транспортировки угля);

– сопряжение с выработкой, оформляемой за очистным забоем.

2.6. Расчет параметров крепи сопряжений вскрывающих и подготавливающих выработок следует производить, как правило, из условия их безремонтного поддержания в течение всего срока их службы, предусматривая выполнение мелких профилактических работ по сохранению эксплуатационного состояния выработок.

2.7. Для учета влияния очистных работ на сопряжения одиночных выработок, поддерживаемых в различных зонах их воздействия, следует руководствоваться соответствующими разделами нормативных документов [1, 2, 6] или обращаться к специализированным научно-исследовательским институтам и организациям, имеющим соответствующие лицензии.

2.8. Существенное влияние на устойчивость сопряжений и сопрягающихся выработок оказывает форма их сечения, которую рекомендуется выбирать с учетом интенсивности проявлений горного давления, материала и типа крепи. При анкерной крепи форму сопряжений целесообразно принимать, как правило, прямоугольной или трапециевидной с плоской кровлей, совпадающей с поверхностями напластования пород, а в пластовых выемочных выработках – с кровлей пласта. В неустойчивых породах и на сопряжениях с большим пролетом следует

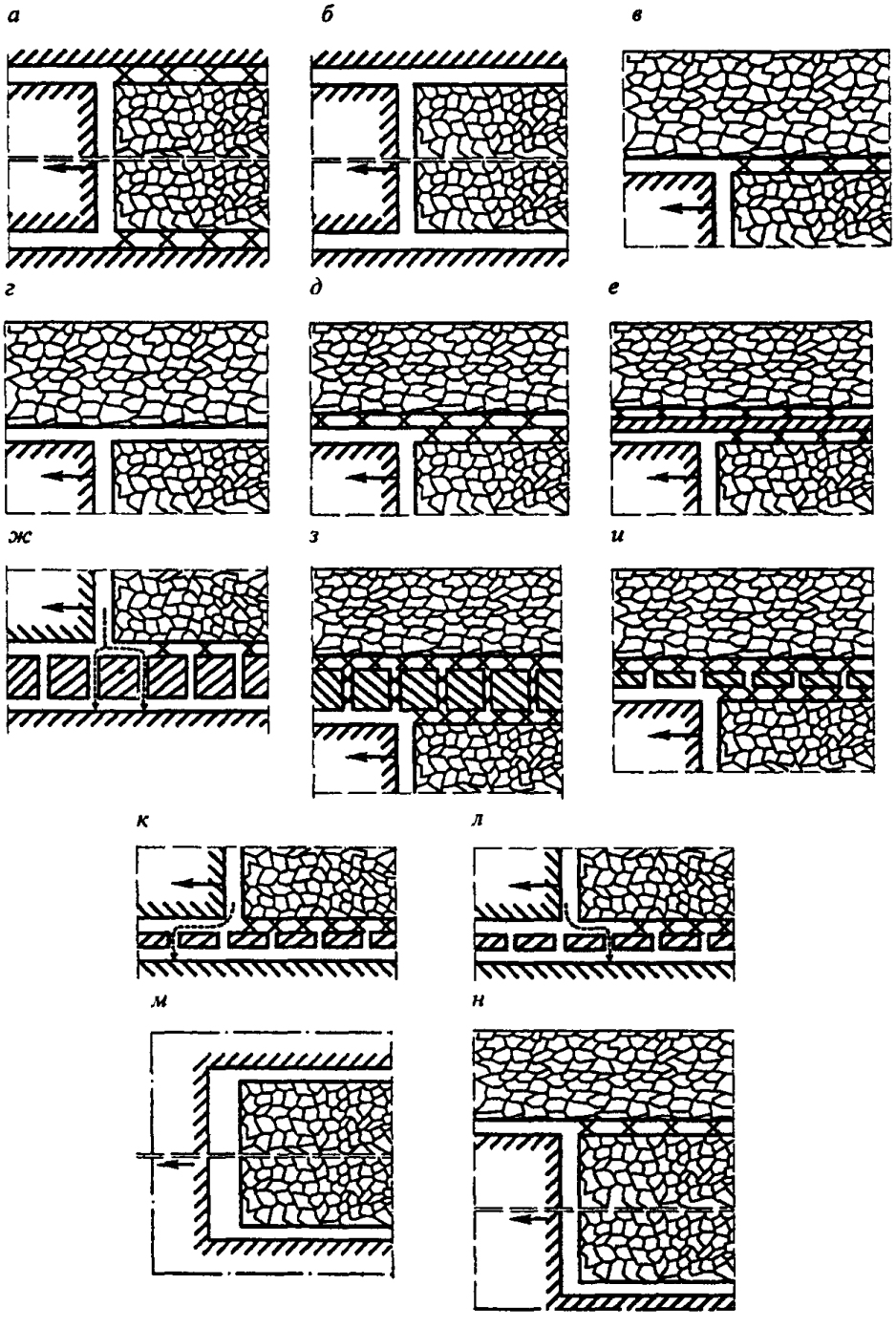


Рис. 3. Сопряжения очистного забоя с подготовительной выработкой:

а – с погашаемой; *б* – с выработкой, сохраняемой за первым очистным забоем; *в*, *г* – с повторно используемой; *д*, *е* – с проводимой вприсечку к выработанному пространству (при сплошной присечке или при оставлении полосы угля шириной 2–4 м); *ж*, *з* – с выработкой, охраняемой целиком шириной меньше $0{,}1H$, но не менее 15 м; *и*, *к*, *л* – с выработкой, охраняемой целиком $(2{,}5–3)m$ (при погашении одной из парных выработок за очистным забоем или при ее временном сохранении для целей транспортирования угля; *м*, *н* – с выработкой, оформляемой за очистным забоем

применять сводчатую форму сечений, а в зоне влияния очистных работ с интенсивным проявлением горного давления, как правило, комбинированные крепи.

3. ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Основными исходными данными для решения задачи расчета и выбора параметров крепи сопряжений выработок являются следующие горно-геологические и горно-технические факторы:

– наименование и назначение выработок;

– срок службы сопряжений t, годы;

– глубина размещения сопряжения от поверхности H, м;

– тип строения пород кровли и их устойчивость;

– угол падения пород α, градусы;

– мощность слоев пород $m_1, m_2, \ldots, m_n$, м;

– сопротивление сжатию пород (каждого слоя) $R_{сж}$ в образце, МПа;

– характеристика структурного ослабления пород и тектонической нарушенности;

– направление проходки выработки (вкрест простирания пород, по простиранию, под углом);

– ширина и высота сопрягающихся выработок в проходке b' и h', м;

– максимальная высота сопряжений в проходке h, м;

– расстояние от сопряжения до других выработок $l_ф$, м;

– расстояние от сопряжения до очистных работ, l_o, м;

– способ проведения выработок (буровзрывной, комбайновый);

– вид сопряжения, угол примыкания θ, градусы;

– характеристика крепи сопряжений.

3.2. Расчетная глубина для сопряжений принимается равной фактической глубине от поверхности.

3.3. Характеристика структурного ослабления пород и тектонической нарушенности оценивается коэффициентом k_c (таблицы 1, 2).

Таблица 1

Среднее расстояние между поверхностями ослабления пород, м	k_c
Более 1,5	0,9
1,5–1,0	0,8
1,0–0,5	0,6
0,5–0,1	0,4
Менее 0,1	0,2

Таблица 2

Характеристика места размещения сопряжения	k_c
Пликативные нарушения с радиусом более 300 м или дизъюнктивные – на расстоянии свыше $4N$ (N – нормальная амплитуда нарушения до 10 м), т. е. вне зоны влияния нарушений	0,9
Пликативные нарушения с радиусом менее 300 м или в зоне влияния дизъюнктивного нарушения на расстояниях от него $4N$ ... N	0,6
Непосредственно в дизъюнктивных нарушениях на расстоянии от них менее N, в том числе в замках тектонических нарушений	0,3

3.4. По строению пород в кровле сопряжений следует выделять три типа кровли по обрушаемости в соответствии с табл. 3.

Таблица 3

I тип кровли	II тип кровли	III тип кровли
Однородная и неоднородная, из слоистых преимущественно глинистых, песчаноглинистых и песчаных сланцев (аргиллитов и алевролитов), $R_c < 60$ МПа	Неоднородная; над непосредственной кровлей из переслаивающихся слоев сланцев, песчаников и т.д. мощностью от 0 до $0{,}3b$ залегают преимущественно массивные песчаники и известняки, $R_c > 60$ МПа	Однородная и неоднородная, с интенсивной кососекущей трещиноватостью в зонах тектонических пликативных и разрывных нарушений

3.5. Для всех типов кровли по обрушаемости непосредственную кровлю над сопряжениями следует разделять на три класса по устойчивости в соответствии с табл. 4.

Таблица 4

I класс – неустойчивая кровля	II класс – кровля средней устойчивости	III класс – устойчивая кровля
Обрушение кровли после обнажения на расстоянии от забоя до 1 м. Преимущественно тонкослоистые и трещиноватые глинистые сланцы, $R_c < 30$ МПа	Сохранение устойчивости при обнажении кровли на расстоянии от забоя 1 до 3 м. Преимущественно слоистые малотрещиноватые глинистые и песчаные сланцы (аргиллиты, алевролиты), $30 < R_c \le 80$ МПа	Сохранение устойчивости кровли при обнажении на расстоянии от забоя свыше 3 м. Преимущественно массивные нетрещиноватые песчаники и известняки, $R_c > 80$ МПа

3.6. Расчетную ширину сопряжений пересекающихся и ответвляющихся выработок (рис. 1, *а, б, з, к*) определяют по формуле:

$$b = \sqrt{b_1^2 + b_2^2}\ , \qquad (1)$$

где b_1 и b_2 – фактическая ширина пересекающихся выработок в проходке, м. Расчетная ширина сопряжений с соединением, ответвлением и

примыканием одной выработки к другой (рис. 1, *в, г, д, е, ж, и, л, м*; рис. 2, *а, б, в*) определяется по формуле:

$$b = \sqrt{b_1^2 + 0{,}5b_2^2}\,, \qquad (2)$$

где b_1 – фактическая ширина основной широкой выработки в проходке, а b_2 – то же, примыкающей, ответвляющейся, соединяющейся, м.

Следует отличать ширину b от максимального пролета сопряжения B, определяемого по соответствующим формулам прил.1 в зависимости от вида сопряжения, ширины сопрягающихся выработок и угла примыкания (ответвления). Максимальный пролет B является важным геометрическим параметром, необходимым для выбора технологии проходки и конструкции крепи сопряжения.

Расчетная ширина сопряжений подготовительной выработки с очистным забоем (см. рис. 3) принимается равной ширине подготовительной выработки в проходке. Расчетная высота сопрягающихся выработок и сопряжений принимается равной их максимальной фактической высоте в проходке.

3.7. Расчетное сопротивление пород одноосному сжатию в массиве R_c следует определять отдельно для кровли, боков и почвы по залегающим литологическим разностям, вмещающим сопряжение: в кровле на высоту, равную 1,5 расчетной ширины сопряжения; в боках – на высоту сопряжения; в почве – на глубину, равную расчетной ширине сопряжения.

Для ряда смежных слоев с изменчивостью R_c до 30 % следует принимать для всего сопряжения усредненное значение расчетного сопротивления пород сжатию, определяемое по формуле:

$$R_c = \frac{(R_{c_1} m_1 + R_{c_2} m_2 + \ldots + R_{c_n} m_n) k_c k_{вл}}{m_1 + m_2 + \ldots + m_n}\,, \qquad (3)$$

где R_{c_1} ..., R_{c_n} – сопротивление сжатию слоев пород, МПа (при определении прочности пород по коэффициенту крепости f пересчет в МПа производят по формуле $R_c = 10f$); $m_1, \ldots, m_n$ – мощность слоя, м; k_c – коэффициент, учитывающий нарушенность массива пород поверхностями без сцепления, либо с малой связностью (зеркала скольжения, трещины, глинистые прослои и т. п.), принимаемый для пород $R_c > 30$ МПа по табл. 1, а для пород с $R_c < 30$ МПа – по табл. 2; $k_{вл}$ – коэффициент снижения сопротивления пород за счет воздействия влаги, принимаемый в зависимости от прочности пород по табл. 5 и учитываемый только в случае длительного обводнения пород в выработках (затопления, перепуска воды и т. п.), для остальных условий $k_{вл} = 1$.

Таблица 5

Сопротивление пород в образце R_c, МПа	30	50	60	80	100	120	160	200
Значение коэффициента $k_{вл}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,82	0,86	0,9

При изменчивости расчетного сопротивления пород сжатию в кровле, боках или почве сопряжения свыше 30 %, R_c следует считать по формуле (3) отдельно по элементам сопряжения (в кровле, боках и почве). Если в кровле или почве сопряжения залегает слой прочных однородных пород с $R_c > 60$ МПа при соотношении $\frac{m_c}{b} \geq 0{,}5$, то расчет производят по фактической прочности этих слоев без учета пород, расположенных выше (в кровле) или ниже (в почве) этого слоя.

При больших разбросах значений m и R_c, приводимых в структурно-геологических колонках, необходимо принимать средние значения, если невозможно их уточнить.

3.8. Для сопряжений, подверженных влиянию очистных работ, дополнительно определяют расчетное сопротивление пород сжатию $R_{c.ср}$ как средневзвешенное из вычисленных значений R_c по формуле (1) для кровли, боков и почвы.

3.9. Кровлю сопряжений следует считать одинаковой по всей их длине, если расчетное сопротивление пород кровли на сжатие находится в пределах 30 %. При изменении R_c более 30 % расчет его ведется по отдельным участкам и окончательно R_c принимается для всего сопряжения по минимальному значению.

3.10. Выбор типа крепи и определение ее параметров для сопряжений горных выработок производится на базе расчета смещений пород и ожидаемых нагрузок на крепь с учетом размеров и формы поперечного сечения, характеристик прочности, слоистости, трещиноватости, тектонической нарушенности и устойчивости пород в кровле, боках и почве, а также интенсивности горного давления на различных стадиях их поддержания, обусловленной глубиной от поверхности и степенью влияния на сопряжения других выработок и очистных работ.

4. ВЫБОР МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ И ОХРАНА СОПРЯЖЕНИЙ

4.1. Выбор места расположения (размещения) сопряжений выработок следует производить с учетом устойчивости вмещающих пород, общих компоновочных решений всего комплекса выработок по шахте. При этом необходимо руководствоваться следующими положениями:

– сопряжения следует по возможности располагать в однородных наиболее устойчивых породах; при отсутствии устойчивых пород основные выработки сопряжений необходимо располагать вкрест простирания пород;

– не допускать расположения сопряжений в зонах крупных тектонических нарушений и напорных водоносных горизонтов;

Таблица 6

Глубина расположения сопряжения от поверхности H, м	Коэффициент k_L при расчетном сопротивлении пород сжатию R_c (МПа) для выработок, пройденных															
	по простиранию								вкрест простирания							
	Не более 30	40	50	60	80	90	100	Более 120	Не более 30	40	50	60	80	90	100	Более 120
Для жесткой крепи																
До 300	2,0	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
301–400	3,0	2,5	2,1	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0
401–600	4,0	3,5	2,7	2,4	1,8	1,7	1,5	1,4	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2
601–900	4,5	3,9	3,0	2,5	2,1	2,0	1,8	1,6	2,6	2,4	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4
901–1200	5,0	4,5	4,0	3,5	2,8	2,5	2,2	1,8	3,0	2,8	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,5
Для податливой крепи																
До 300	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
301–400	1,8	1,4	1,1	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
401–600	2,3	1,9	1,5	1,15	1,05	1,0	1,0	1,0	1,3	1,2	1,1	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0
601–900	2,6	2,1	1,7	1,45	1,25	1,15	1,1	1,0	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0
901–1200	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,45	1,3	1,05	1,7	1,6	1,5	1,45	1,3	1,15	1,05	1,0

Примечания: 1. Для сопряжений выработок, расположенных под углом к простиранию пород, коэффициент k_L принимают как среднее между значениями по простиранию и вкрест простирания.

2. Для сопряжений выработок, закрепленных анкерной крепью, коэффициент k_L для всех глубин при сопротивлении пород сжатию более 40 МПа следует принимать равным 1,0, а для R_c менее 40 МПа – равным для глубин менее 400, 401–600, 601–900; 901–1200 м соответственно 1,0; 1,15; 1,3 и 1,45.

3. Для сопряжений выработок, закрепленных комбинированной (рамной и анкерной) крепью, указанные в п. 2 настоящих примечаний значения k_L следует уменьшить на 20 %, принимая минимальным значение $k_L = 1$.

– при пересечении сопрягающимися выработками зон тектонических нарушений стремиться по возможности пересекать их под прямыми (или близкими к прямым) углами к плоскости сместителя нарушения.

4.2. Сопряжения и другие близко расположенные смежные выработки испытывают взаимное влияние при нахождении друг от друга на расстоянии $l_д$, определяемом по формуле:

$$l_д = (b+c)k_L, \qquad (4)$$

где b – расчетная ширина сопряжения, м; c – ширина взаимовлияющей выработки в проходке, м; k_L – коэффициент взаимовлияния выработок, определяемый по табл. 6 для жестких, податливых и упрочняющих массив крепей.

4.3. Охрану сопряжений одиночных горных выработок от влияния очистных работ следует осуществлять в соответствии с положениями разделов 5 и 6 Указаний [1].

Принятие или проектирование целиков для охраны сопряжений, меньших, чем рекомендовано в разд. 5 Указаний [1], а также сокращение размеров целиков в процессе эксплуатации допустимо при соответствующем обосновании и применении дополнительных конструктивных и горных мер защиты выработок и сопряжений, которые должны быть согласованы с ВНИМИ или другими организациями, имеющими соответствующие лицензии.

4.4. Расположение подготавливающих выработок (штреков, квершлагов, уклонов, бремсбергов) и их сопряжений относительно очистных работ (положение относительно границ выработанного пространства, расстояния от разрабатываемых пластов) следует принимать из условия обеспечения (с учетом степени влияния очистных работ) безремонтного рабочего состояния выработок и сопряжений при креплении их, как правило, незамкнутой податливой крепью без применения или с применением различных мероприятий по уменьшению смещений пород на контуре выработок и сопряжений.

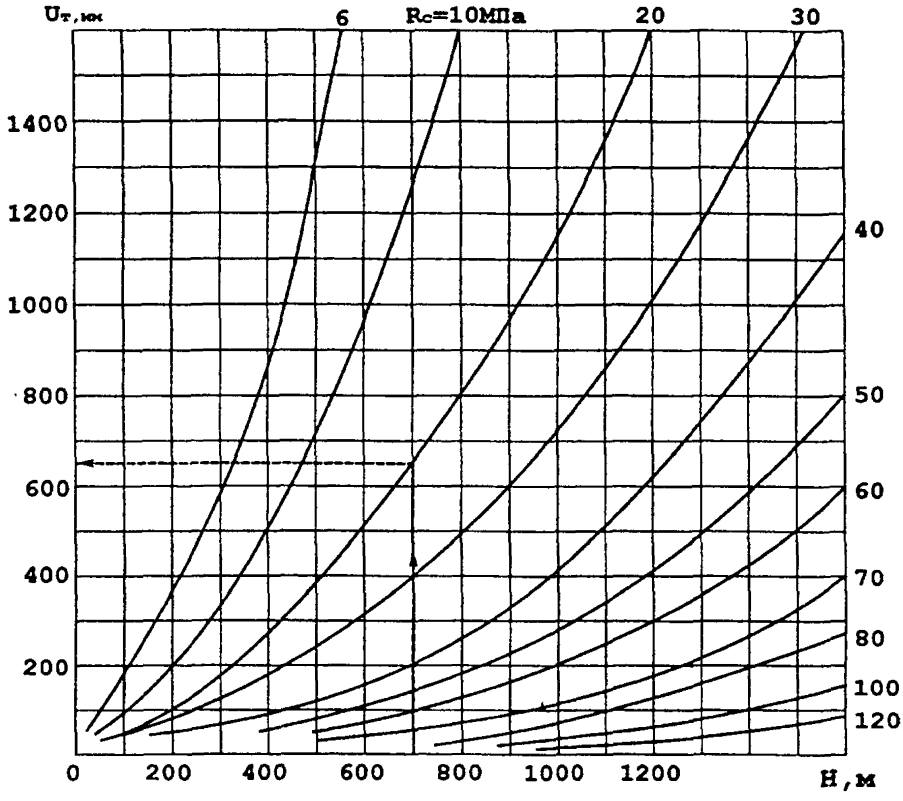
5. РАСЧЕТ СМЕЩЕНИЙ ПОРОД И ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

5.1. Величину смещения пород U_o на сопряжениях горизонтальных и наклонных выработок, находящихся вне влияния очистных работ, следует определять по формуле:

$$U_o = k_\alpha k_\theta k_ш k_в k_l U_т, \qquad (5)$$

где $U_т$ – смещение пород, принятое за типовое и определяемое по графикам (рис. 4) в зависимости от расчетного сопротивления пород кровли, почвы или боков R_c и глубины расположения сопряжения от поверхности H; k_α – коэффициент влияния угла падения пород и направления проходки выработки относительно простирания пород,

а



б

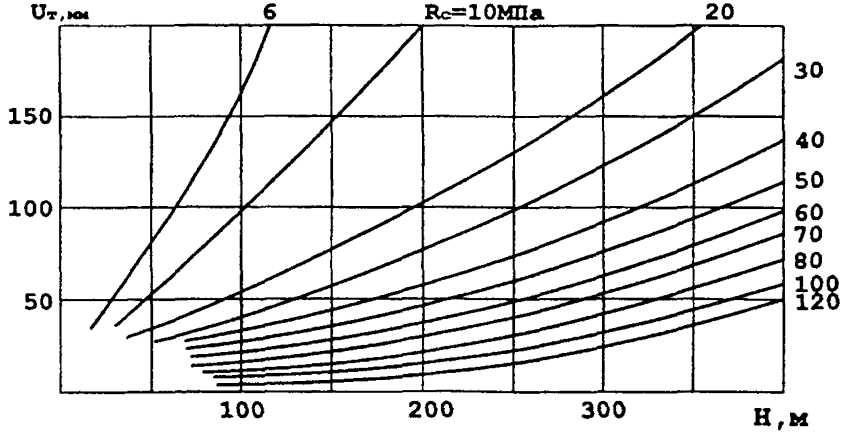


Рис. 4. Графики для определения типового смещения пород $U_т$:

а – общие; *б* – для небольших глубин

определяемый по табл. 7; k_θ – коэффициент направления смещений пород: при определении смещений со стороны почвы или кровли (в вертикальном направлении) $k_\theta = 1$; при определении боковых смещений пород (в горизонтальном направлении) k_θ определяют по табл.7; $k_ш$ – коэффициент влияния размеров сопряжения, который определяют для кровли и почвы по формуле (6) , а для боков – (7):

$$k_ш = 0{,}25(b - 1); \quad (6)$$

$$k_ш = 0{,}25(h - 1). \quad (7)$$

Таблица 7

Направление проходки выработки	Коэффициенты при углах падения пород α, (...°)			
	до 20		21–30	
	k_α	k_θ	k_α	k_θ
По простиранию	1,0	0,35	0,95	0,55
Вкрест простирания	0,7	0,55	0,60	0,80
Под углом к простиранию	0,85	0,45	0,80	0,65

Коэффициент влияния времени на смещения пород k_t для выработок, срок службы которых менее 15-ти лет, определяют по графикам (рис. 5), при сроке службы более 15-ти лет и $H/R < 60$ коэффициент $k_t = 1$.

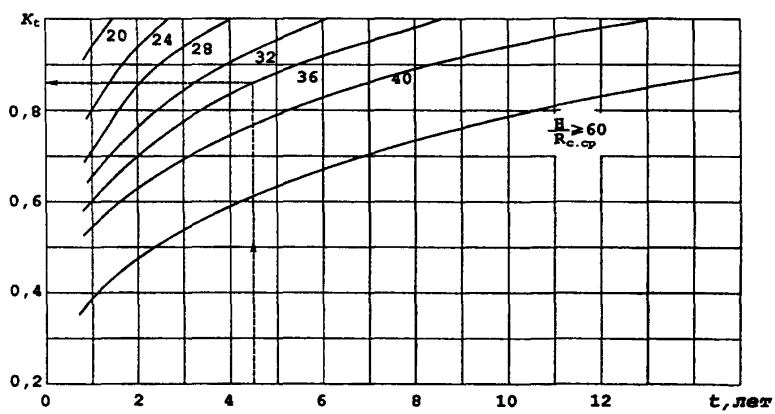


Рис. 5. Графики для определения коэффициента k_t при t от 1 года до 15-ти лет

Коэффициент вредного воздействия выработок $k_в$ характеризует степень увеличения смещений пород на участках сопряжений по сравнению с одиночной выработкой, где $k_в = 1$:

$$k_в = k_{в1} k_{в2}, \quad (8)$$

где $k_{в1}$ – коэффициент взаимовлияния сопрягающихся выработок, определяемый по табл. 8; $k_{в2}$ – коэффициент влияния других смежных выработок, расположенных относительно участков сопряжений на расстояниях менее допустимых $l_д$, определяемых по формуле (4):

$$k_{в2} = l_д / l_ф , \quad (9)$$

где $l_ф$ – фактическое расстояние между сопряжением и другими выработками, м. При $l_д < l_ф$ следует принимать $k_{в2} = 1$.

Таблица 8

Вид сопряжения	Значение $k_{в1}$	Примечание
Прямое пересечение	1,6	Рис. 1, *а*
Косое пересечение	1,6	Рис. 1, *б*
Прямоугольное ответвление	1,4	Рис. 1, *в*
Остроугольное ответвление	1,4	Рис. 1, *г, д*, ответвление под разными углами
Соединение двух выработок в одну	1,4	Рис. 1, *е, ж*, соединение под разными углами
Двустороннее ответвление	1,6	Рис. 1, *з*
То же, с разносом выработок	1,6	Рис. 1, *и* (разнесение выработок, не исключающее их взаимное влияние)
Соединение трех выработок (треугольный узел)	1,6	Рис. 1, *к* (с породным или искусственным целиком)
Примыкание выработок	1,2	Рис. 1, *л, м*

Примечание. Приведенные в табл. 8 значения $k_{в1}$ относятся к случаю последовательной проходки сопрягающихся выработок. В случае одновременной проходки сопрягающихся выработок значения $k_{в1}$ следует увеличивать в два раза.

Учет влияния очистных работ на сопряжения одиночных выработок осуществляется путем увеличения расчетной величины смещений пород U_o на коэффициент k_o, который должен соответствовать фактическим условиям (п. 2.7).

При подготовке выемочных столбов парными выработками (см. рис. 2) коэффициент $k_в$ для сопряжений выработок с их сбойками, в случае принятия размеров целика между выработками менее 15 м, следует определять по формуле:

$$k_в = 1 + \left(1 - \frac{l_ц}{15}\right), \quad (10)$$

где $l_ц$ – ширина целика, м.

В условиях динамических проявлений горного давления необходимо выполнять требования п. 2.4, а в обычных условиях указанные в п. 2.4 параметры допускается уменьшить в два раза.

5.2. Величину смещений пород на сопряжениях подготовительных выработок с очистным забоем (см. рис. 3) следует определять:

а) для участка сопряжения 10 м впереди очистного забоя в зоне опорного давления по формулам (11)–(24), приведенным в табл. 9;

б) для участка сопряжения в створе с очистным забоем и участка 10 м сзади очистного забоя смещения, рассчитанные по формулам (11)–(24), увеличиваются на соответствующий коэффициент $k_{инт}$, зависящий от типа кровли ($U_{кр}k_{инт}$, где $k_{инт}$ – коэффициент увеличения смещений пород на участках сопряжения от интенсивного воздействия очистных работ, приведен в табл. 9).

Таблица 9

Вид сопряжения и расчетная формула смещений пород для его участка 10 м впереди очистного забоя (см. рис. 3)	$K_{инт}$ на участках сопряжения в зависимости от типа кровли						Позиция на рис. 3
	В створе с очистным забоем			10 м сзади очистного забоя			
	I	II	III	I	II	III	
1. С вентиляционной или конвейерной выработкой, погашаемой за первым очистным забоем при отработке первого столба в выемочном участке. $U_{кр}=U_o+U_1k_{кр}k_sk_к$ (11)	1,3	1,2	1,4	–	–	–	3, *а*
2. То же, сохраняемой за первым очистным забоем при отработке первого столба в выемочном участке и с конвейерной выработкой при отработке последующих столбов. $U_{кр}=U_o+1,2U_1k_{кр}k_sk_к$ (12)	1,3	1,2	1,4	1,8	1,6	2,0	3, *б*
3. То же, используемой повторно и погашаемой за вторым очистным забоем. $U_{кр}=U_o+(2U_1k_к+mk_{охр}k_{т1})k_{кр}k_s$ (13)	1,5	1,3	1,6	–	–	–	3, *в*
4. То же, используемой повторно и сохраняемой за вторым очистным забоем для целей прямоточного проветривания. $U_{кр}=U_o+1,2(2U_1k_к+mk_{охр}k_{т1})k_{кр}k_s$ (14)	1,5	1,3	1,6	1,8	1,6	2,0	3, *г*
5. То же, проводимой вприсечку к выработанному пространству всплошную. $U_{кр}=U'_o+U'_1k_{кр}k_sk_к$ (15)	1,2	1,3	1,5	–	–	–	3, *д*
6. То же, проводимой вприсечку к выработанному пространству с оставлением полосы угля шириной 2–4 м $U_{кр}=U'_o+0,7U'_1k_{кр}k_sk_к$ (16)	1,1	1,2	1,4	–	–	–	3, *е*
7. С конвейерной выработкой, охраняемой целиками угля шириной от 15 м до $0,1H$ м и погашаемой за очистным забоем. $U_{кр}=U_o+U^ц_1k_{кр}k_sk_к$ (17)	1,4	1,3	1,6	–	–	–	3, *ж*

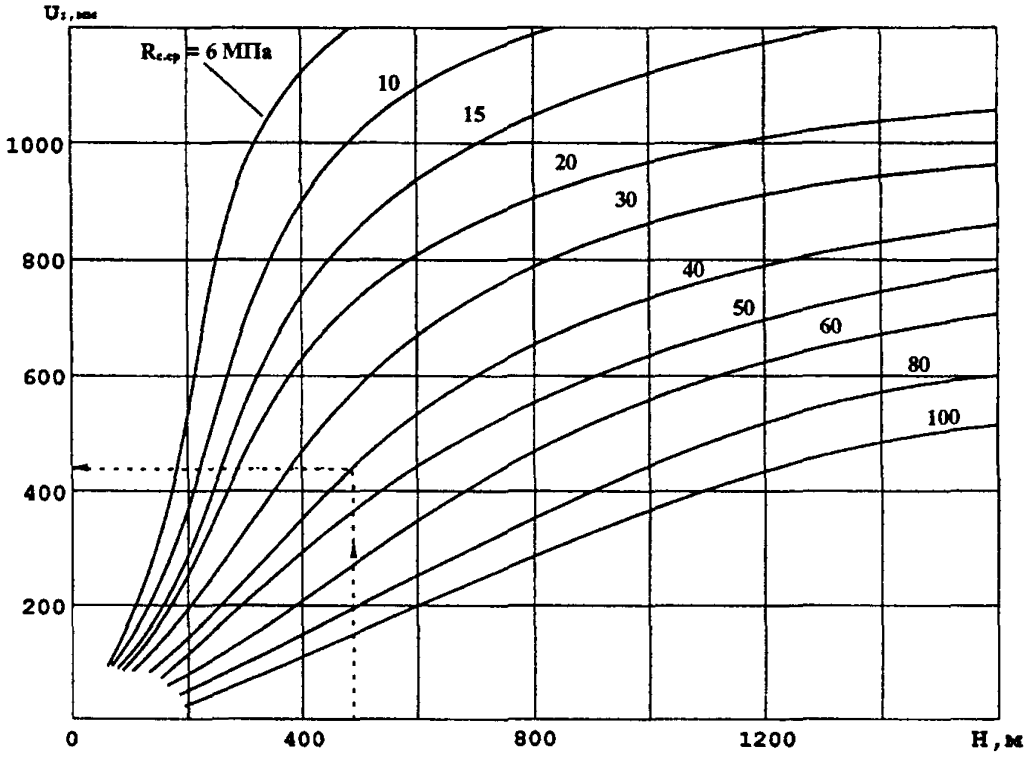
Окончание табл. 9

Вид сопряжения и расчетная формула смещений пород для его участка 10 м впереди очистного забоя (см. рис. 3)	$K_{нит}$ на участках сопряжения в зависимости от типа кровли						Позиция на рис. 3
	В створе с очистным забоем			10 м сзади очистного забоя			
	I	II	III	I	II	III	
То же, временно сохраняемой за очистным забоем для целей транспортирования угля. $U_{кр}=U_o+1,2U^{ц}_1k_{кр}k_sk_к$ (18)	1,4	1,3	1,6	2,0	1,8	2,2	
8. С вентиляционной выработкой, охраняемой целиком шириной 15 м – $0,1H$ м и погашаемой за вторым очистным забоем. $U_{кр}=U_o+(U^{ц}_1+\Delta U^{ц}_1+tk_{тц}V^{ц}_1)k_{кр}k_sk_к$ (19)	1,3	1,2	1,4	–	–	–	3, *з*
9. То же, податливыми целиками шириной 2,5–3,0 *m* и погашаемой за вторым очистным забоем. $U_{кр}=U_o+(2U_1k_к+0,05mk_{т1})k_{кр}k_s$ (20)	1,2	1,3	1,5	–	–	–	3, *и*
10. С конвейерной выработкой, охраняемой податливыми целиками шириной 2,5–3,0 *m* и погашаемой за очистным забоем. $U_{кр}=U_o+1,1U_1k_{кр}k_sk_к$ (21)	1,3	1,2	1,4	–	–	–	3, *к*
11. То же, шириной 2,5–3,0 *m* и временно сохраняемой за очистным забоем для целей транспортирования угля. $U_{кр}=U_o+1,3U_1k_{кр}k_sk_к$ (22)	1,3	1,2	1,4	1,6	1,4	1,8	3, *л*
12. С вентиляционной или конвейерной выработками, оформленными за очистным забоем при отработке первого столба в выемочном участке. $U_{кр}=mk_{охр}k_s$ (23)	1,2	1,0	1,3	1,6	1,4	1,8	3, *м*
13. С вентиляционной выработкой, оформленной за очистным забоем, используемой повторно и погашаемой за очистным забоем второй лавы. $U_{кр}=(mk_{охр}+U_2k_{кр}k_к)k_s$ (24)	1,3	1,2	1,4	–	–	–	3, *н*

Примечание. В случае применения схем поддержания сопряжений очистного забоя со спаренной выработкой, охраняемой временным целиком угля и погашаемой одновременно с его извлечением, а также с вентиляционной выработкой, охраняемой целиком шириной 15 м – $0,1H$(м), подвергающейся влиянию первой лавы и сохраняемой за вторым очистным забоем для целей вентиляции, расчет смещений пород кровли следует производить так же, как для схемы, представленной на рис. 3, *з*.

В формулах, содержащихся в табл. 9: $U_{кр}$ – смещения пород на сопряжении со стороны кровли, мм; U_o – смещения пород кровли сопряжения (мм) в период его службы вне влияния очистных работ, определяемые по формуле (5); U_1 – смещения пород (мм) в зоне временного

а



б

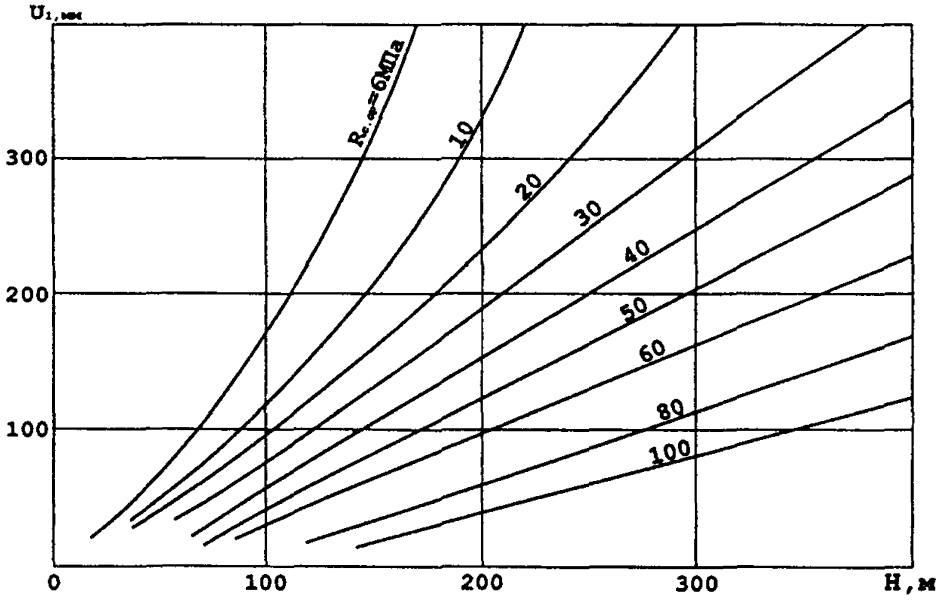


Рис. 6. Графики (*а* – общий; *б* – для небольших глубин) смещений пород U_1 в зоне временного опорного давления очистного забоя

опорного давления очистного забоя, определяемые по графику рис. 6; $k_{кр}$ – коэффициент, учитывающий обрушаемость основной кровли, принимаемый равным 0,8 для I и III типов кровли и 1,2 для II типа кровли (см. табл. 3); k_s – коэффициент, учитывающий влияние площади сечения сопряжения в свету до осадки, определяемый по табл. 10 (площадь сечения сопряжения определяется по его расчетной ширине п. 3.6); $k_к$ – коэффициент, характеризующий долю смещений пород кровли в общих смещениях пород на сопряжении, определяемый по графикам рис. 7.

Таблица 10

S, м²	8	10	12	14	16	18	20	22	24
k_s	0,9	1,0	1,1	1,2	1,25	1,35	1,45	1,6	1,8

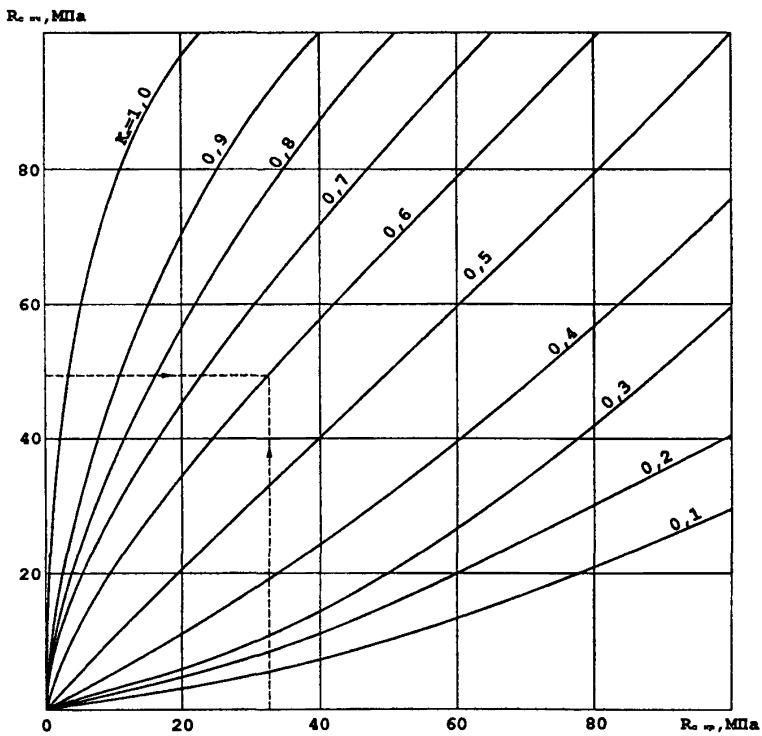
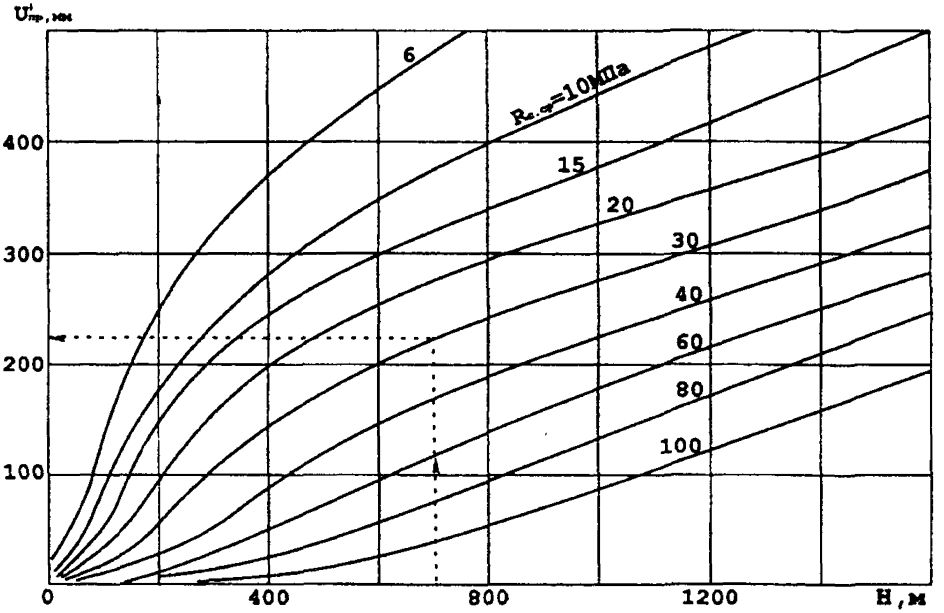


Рис. 7. Графики для определения коэффициента $k_к$

а



б

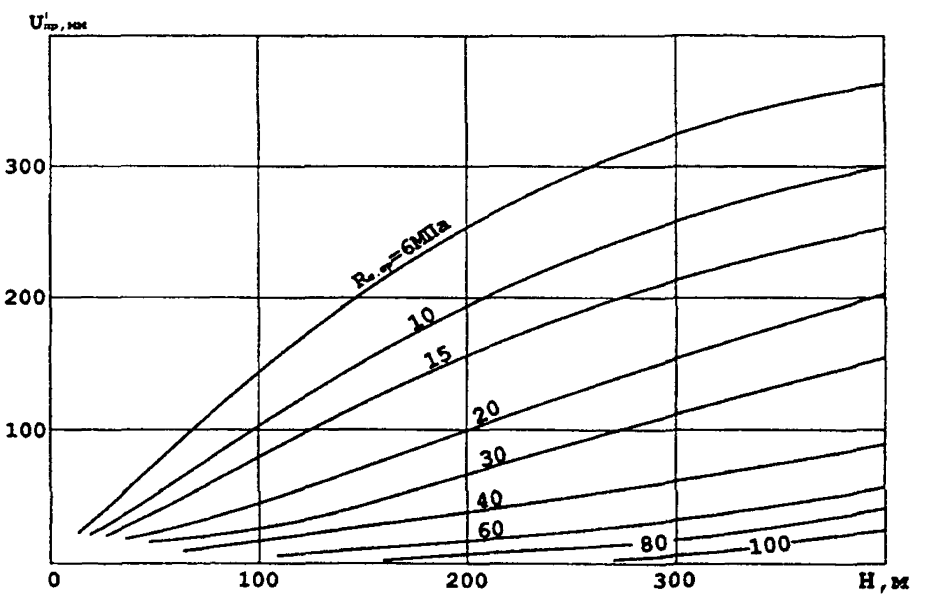
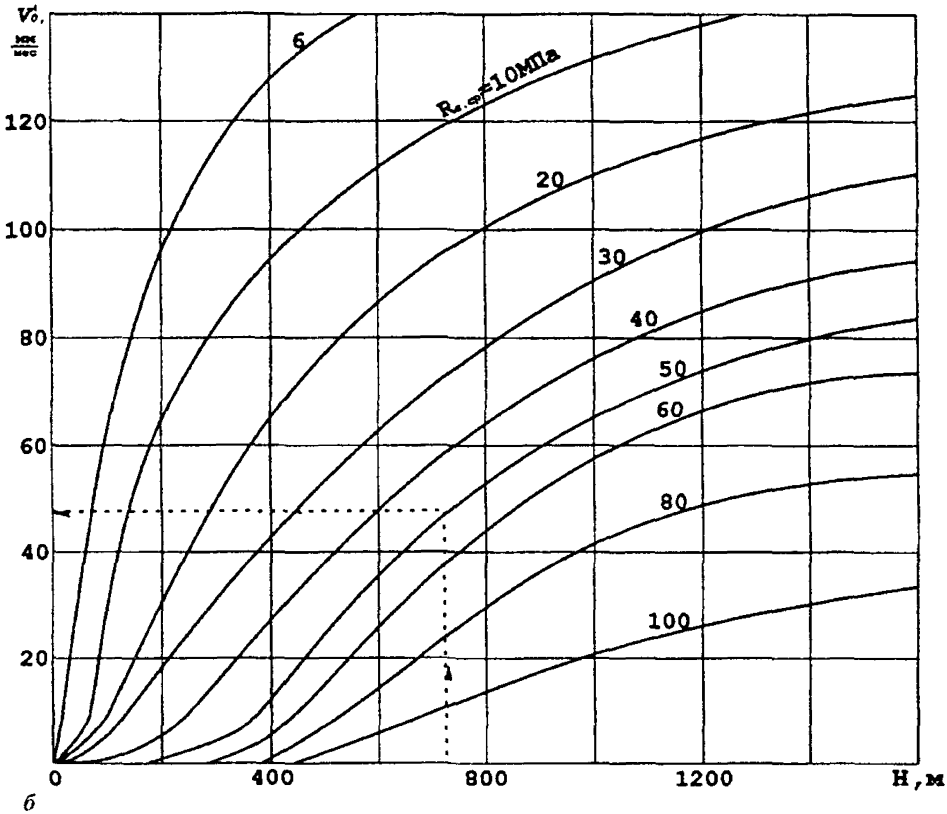


Рис. 8. Графики (*а* – общий, *б* – для небольших глубин) смещений пород в присечных выработках вне зоны влияния собственного очистного забоя

а



б

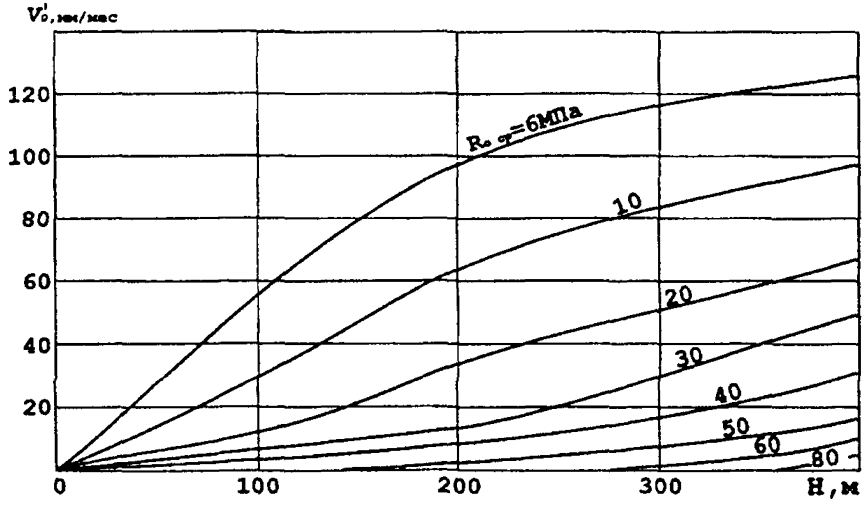
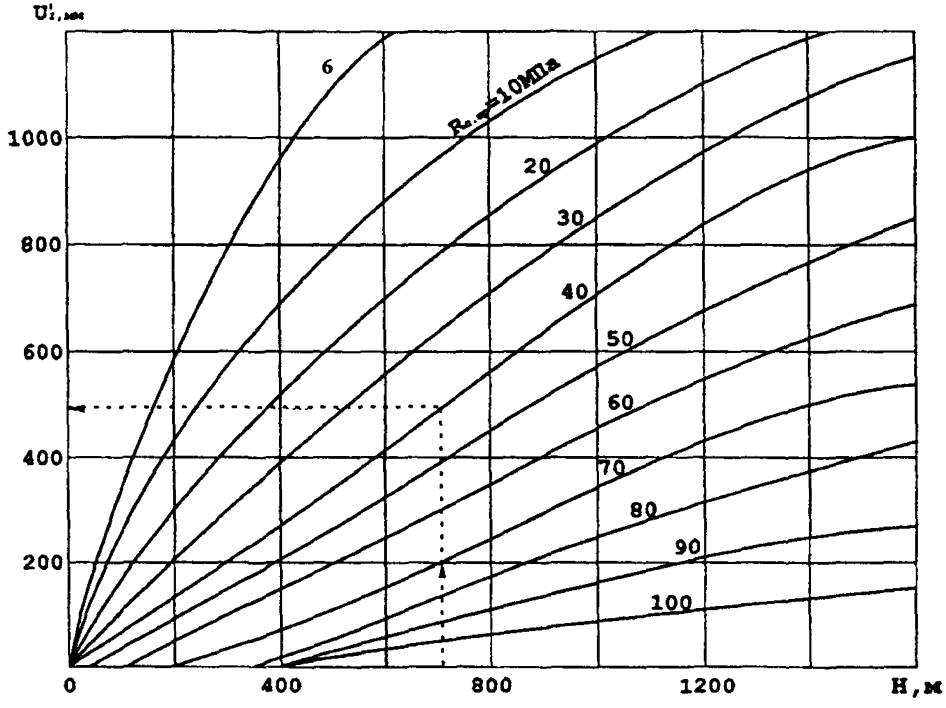


Рис. 9. Графики (*а* – общий, *б* – для небольших глубин) скорости смещения пород в присечных выработках вне зоны влияния собственного очистного забоя

а



б

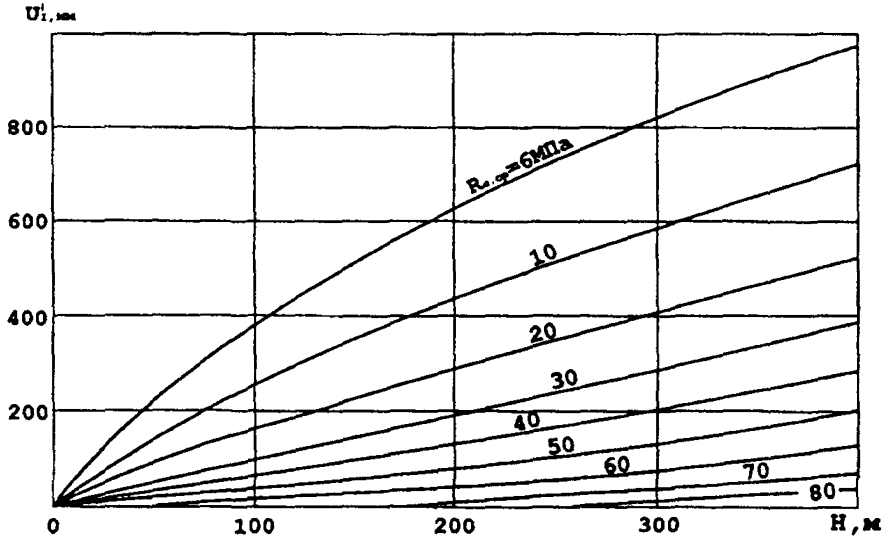


Рис. 10. Графики (*а* – общий, *б* – для небольших глубин) смещений пород в присечных выработках в зоне влияния собственного очистного забоя

Смещения пород кровли U'_o (мм) в присечной выработке вне влияния подготавливаемой лавы определяют по формуле:

$$U'_o = (U'_{пр} + 2V'_o)k'k_y k_к, \qquad (25)$$

где $U'_{пр}$ – смещения пород при проведении выработок вприсечку к выработанному пространству, мм (рис. 8), V'_o – средняя скорость смещения пород (мм/мес) в течение двух месяцев после прохода забоя присечной выработки, при которой реализуются основные смещения пород кровли (рис. 9); k' – коэффициент, учитывающий влияние места расположения присечной выработки относительно границы выработанного пространства, принимаемый при определении смещений кровли равным 1,0 для полной присечки и 0,7 при оставлении полосы угля шириной 2–4 м, а при определении боковых смещений пород равным 1,0 для полной присечки и 1,5 при оставлении полосы угля шириной 2–4 м; U'_1 – смещения пород (мм) в присечной выработке в зоне влияния временного опорного давления очистного забоя (рис. 10); m – вынимаемая мощность пласта, мм; $k_{охр}$ – коэффициент, учитывающий влияние податливости искусственных ограждений и принимаемый равным: 0,2 – для органной крепи, 0,15 – для железобетонных тумб; 0,1 – для литых полос из быстротвердеющих материалов (ангидрит, фосфогипс, бетон и др.); 0,2 – для породных полос, выкладываемых с помощью пневмозакладочных комплексов; 0,3 – для бутокостров, костров из шпального бруса и сплошных накатных костров; 0,4 – для породных полос, выкладываемых вручную, и костров из круглого леса. При наличии легкообрушающихся пород кровли и их обрушении с помощью ряда органной крепи, устанавливаемой в выработке, коэффициент $k_{охр} = 0{,}1$; k_{t1} – коэффициент влияния времени поддержания выработки между отработкой первого и второго очистного забоев, принимаемый по табл. 11.

Таблица 11

Время поддержания выработки между отработкой первой и второй лав, годы	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
k_{t1}	0,6	0,75	0,9	1,0	1,0	1,15

$U^{ц}_1$ – смещения пород (мм) в выработке за период влияния временного опорного давления первой лавы, устанавливаемые по номограмме (рис. 11) в соответствии с шириной целика $l_ц$; $\Delta U^{ц}_1$ – смещения пород (мм) позади забоя первой лавы, определяемые по номограмме (рис. 12); $V^{ц}_1$ – скорость смещения пород в зоне остаточного опорного давления в выработках, охраняемых целиками угля, мм/мес (рис. 13); t – время поддержания (мес.) выработки в зоне остаточного опорного давления первой или второй лавы. При воздействии опорного давления меньше года t равно количеству месяцев, при $t > 1$ года принимают $t = 12k_{tц}$, где $k_{tц}$ – коэффициент влияния времени, принимаемый из табл. 12.

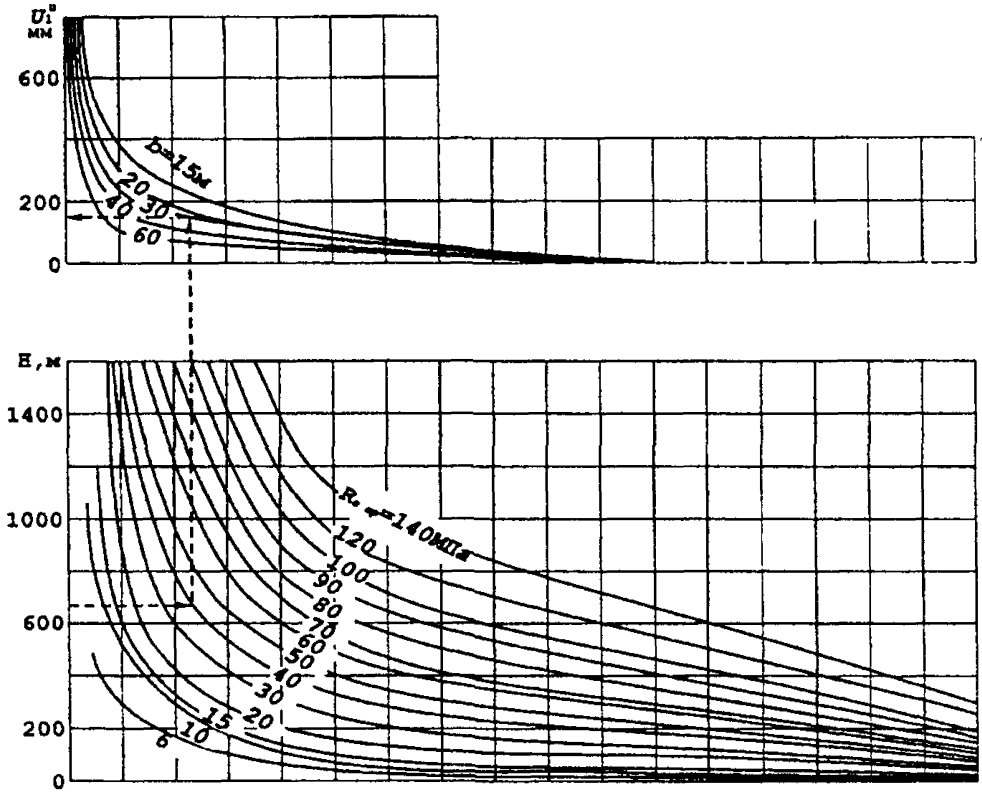


Рис. 11. Номограмма для определения смещений $U^{\text{ц}}_1$

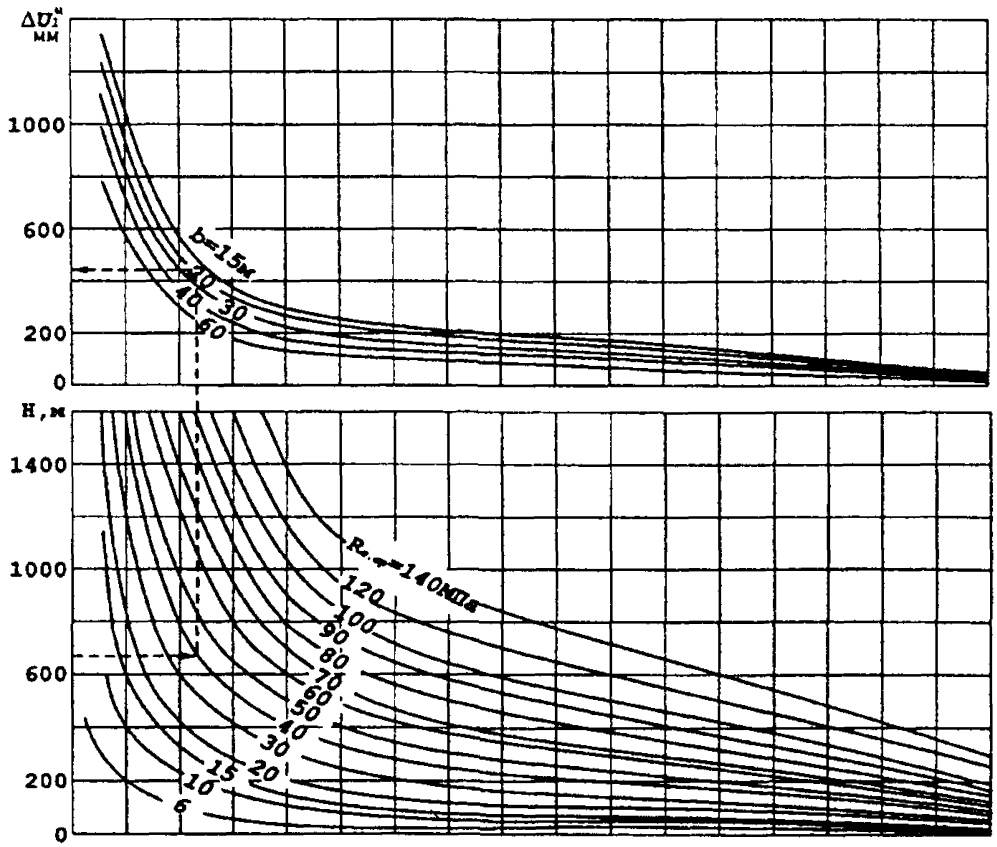


Рис. 12. Номограмма для определения смещений $\Delta U^{\text{ц}}_1$

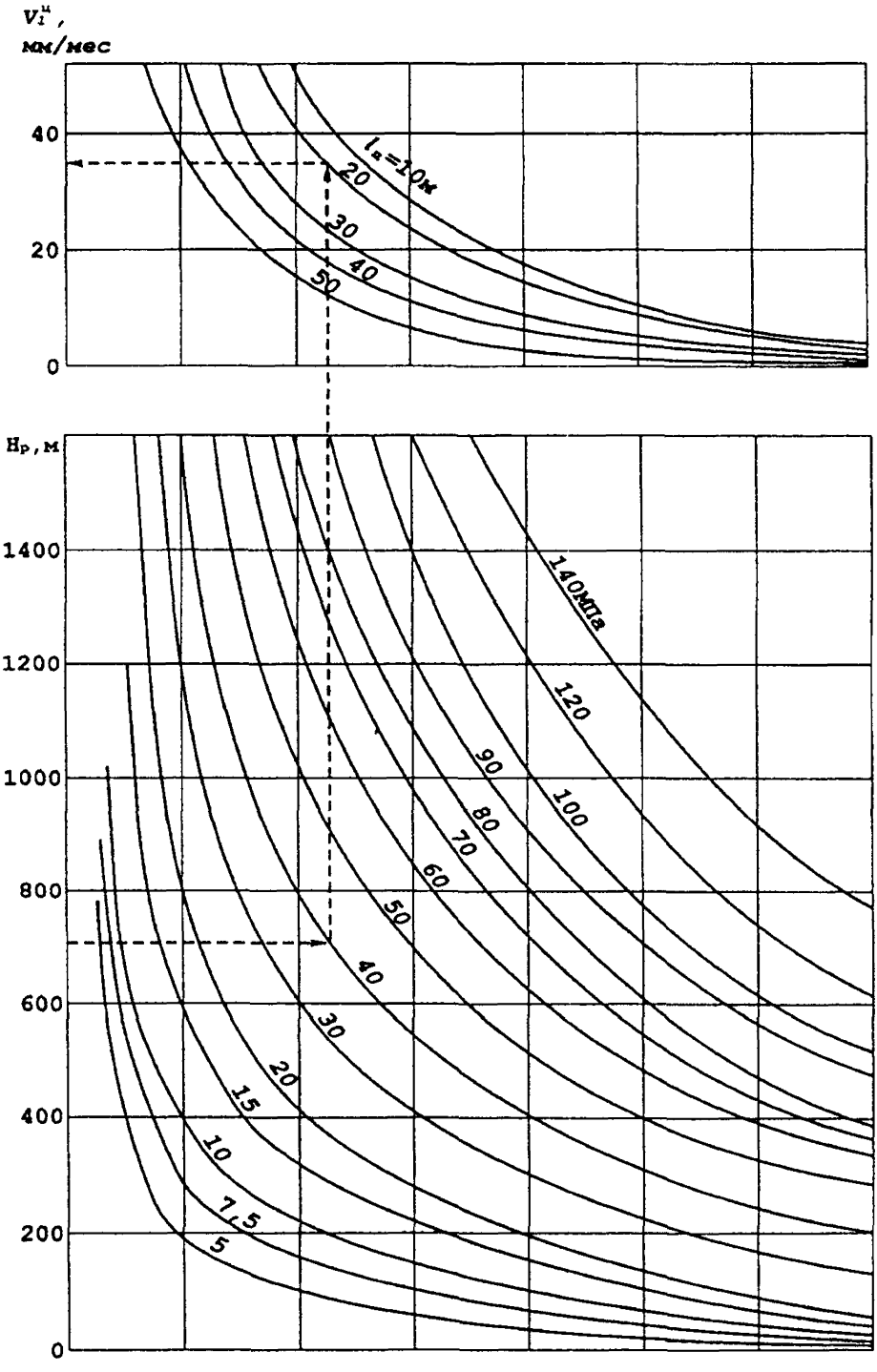


Рис. 13. Номограмма для определения скорости смещения пород $V^ц_1$

Таблица 12

Количество лет	Значение $k_{\text{п}}$ при $R_{\text{с ср.}}$ (МПа)		
	40	60	80
2	1,05	1,0	1,0
3	1,10	1,05	1,0
4	1,15	1,07	1,0
5	1,20	1,10	1,0

5.3. На основании расчетной величины смещений пород на контуре поперечного сечения сопряжений и участков сопрягающихся выработок за весь срок службы выработок $U_{\text{кр}}$ необходимо производить оценку интенсивности проявлений горного давления (табл. 13).

Таблица 13

Условия поддержания сопряжений горных выработок по интенсивности проявления горного давления (I–III – категории интенсивности)	Смещения пород, мм
I. Небольшое	До 50
II. Средней интенсивности	Свыше 50, до 200
III. Интенсивное	Свыше 200

6. ВЫБОР КРЕПИ СОПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

6.1. Тип крепи сопряжений определяется в первую очередь назначением и сроком службы сопрягающихся выработок (табл. 14).

6.2. Тип крепи сопряжений в каждой группе выработок следует выбирать в зависимости от категории интенсивности проявлений горного давления, определяемой в соответствии с табл. 13.

От степени тяжести проявлений горного давления зависят те или иные средства и мероприятия по проведению, креплению, и поддержанию сопряжений.

6.3. При выборе типов крепи сопряжений следует предусматривать максимальное использование несущей способности массива, применение рациональных средств и способов крепления, новых технологических и конструктивных мероприятий, направленных на повышение устойчивости пород и снижение интенсивности горного давления. Вместо дорогостоящих тяжелых крепей нужно стремиться применять облегченные и более технологичные.

Таблица 14

Группа выработок	Применяемые типы крепи сопряжений
Вскрывающие (для вскрытия шахтного поля, горизонта): околоствольные дворы, главные откаточные и вентиляционные квершлаги, полевые штреки и др.	Монолитные бетонная и железобетонная (с гибкой арматурой); анкерная, набрызгбетонная; комбинированная из набрызгбетона, анкеров и металлической сетки; комбинированная из монолитного бетона или железобетона (с гибкой арматурой) с анкерами; металлобетонная (рамы из двутавра или спецпрофиля в бетоне); металлическая арочная или кольцевая податливая с анкерами или без анкеров
Подготавливающие (выработки, проводимые во вскрытом шахтном поле): этажные, панельные, блоковые штреки, квершлаги, уклоны, бремсберги и др.	Анкерная, монолитные бетонная или железобетонная (с гибкой арматурой); металлическая арочная податливая; кольцевая металлическая; металлическая податливая с анкерами; деревянная рамная; комбинированная из деревянных рам с анкерами; трапециевидная податливая металлическая; смешанная крепь с податливыми железобетонными стойками и металлическими верхняками; анкерная с подхватами и решетчатой затяжкой
Выемочные (подготовительные выработки, примыкающие к очистным забоям): выемочные штреки, бортовые ходки, разрезные и углеспускные печи, просеки	Анкерная, металлическая податливая (арочная, трапециевидная, прямоугольная); деревянная рамная; смешанная из деревянных стоек и металлических верхняков; анкерная с подхватами и затяжкой, крепь усиления из рам или стоек

6.4. На сопряжениях горизонтальных и наклонных вскрывающих выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ и других выработок, рекомендуется применять:

в условиях I категории интенсивности проявлений горного давления – анкерную, набрызгбетонную крепь толщиной 40–50 мм в монолитных малотрещиноватых породах; комбинированную из анкеров с металлической сеткой и набрызгбетона толщиной 40–50 мм – в трещиноватых;

в условиях II категории интенсивности проявлений горного давления – комбинированную крепь из набрызгбетона толщиной не менее 50 мм с анкерами и металлической сеткой; монолитные бетонную и железобетонную (с гибкой арматурой) крепи; рамную крепь из железобетонных стоек с металлическими верхняками; металлическую податливую крепь; металлическую податливую в комбинации с анкерами;

в условиях III категории интенсивности проявлений горного давления – монолитные бетонную и железобетонную (с гибкой арматурой), металлобетонную, металлическую податливую крепь с тампонажем закрепного пространства и при необходимости – упрочнение пород цементацией и анкерованием.

В условиях III категории интенсивности проявлений горного давления крепи, как правило, должны быть с обратным сводом.

Возведение обратного свода можно исключить, если выполняются мероприятия по уменьшению смещений почвы путем упрочнения пород цементацией, анкерованием или разгрузкой массива.

Необходимость возведения обратного свода и его параметры определяются на основе расчета смещения пород почвы, податливости забутовки и отпора крепи, а также с учетом времени установки крепи.

6.5. Для сопряжений горизонтальных и наклонных подготавливающих выработок наиболее рациональными являются крепи: анкерные, металлические рамные (арочная, кольцевая, с плоским перекрытием), смешанные рамные (стойки металлические или железобетонные, верхняки металлические), комбинированные (анкеры с рамными крепями), анкеры с подхватами и решетчатой затяжкой.

6.6. Сопряжения выемочных выработок, по сравнению с сопряжениями вскрывающих и подготавливающих выработок, имеют меньший срок службы и меньшее сечение, поэтому для их крепления, наряду с металлической рамной податливой крепью (КМП-А3, КМП-А4, КМП-К4), широко может использоваться анкерная с крепью усиления или без нее, деревянная рамная крепь (трапециевидная или прямоугольная), смешанная (металлические верхняки, деревянные стойки), металлическая податливая трапециевидная (КМП-Т).

6.7. Тип рамной крепи следует выбирать по прил. 4 на основании ширины выработки с учетом состояния пород ее кровли. При устойчивых и среднеустойчивых кровлях предпочтительнее крепь с плоскими (прямолинейными) верхняками, при неустойчивых – с верхняками арочной формы.

6.8. На участках сопряжений горных выработок с очистными забоями, попадающих в зону воздействия вторичных осадок основной кровли, необходимо предусматривать дополнительное усиление крепи. Места расположения участков сопряжений и вероятных зон воздействия на них вторичных осадок основной кровли определяются шагом первичной и вторичной осадок основной кровли, которые находят экспериментальным путем или в соответствии с Методическими указаниями [8]. Размер шага вторичных осадок пород основной кровли можно принять (0,35–0,4)L_o, где L_o – шаг первой осадки, м. Следовательно, впереди очистного забоя через каждый шаг вторичных осадок необходимо усиливать основную крепь сопряжений выработок. Методы, способы и средства управления геомеханическим состоянием массива пород, в котором находится предполагаемое место расположения сопряжений горных выработок (подготовительной и очистной), необходимо оценивать по величине критерия $K_т$, определяемого по формуле:

$$K_т = \left[\frac{R_c h_o m}{\gamma H L_o (1 + h_н)}\right]^{0,25}, \qquad (26)$$

где R_c – прочность пород основной кровли на сжатие, МПа; h_o – мощность пород основной кровли, м; m – вынимаемая мощность угольного

пласта, м; γH – напряженное состояние пород МПа; L_o – предельный пролет основной кровли или шаг первой осадки, м; $h_н$ – мощность легкообрушающихся пород непосредственной кровли, м.

При $K_т < 1,0$ дополнительные мероприятия по усилению крепи не производят. При $K_т = 1,0–1,5$ параметры средств усиления основной крепи необходимо увеличивать на 10–25 % (промежуточные значения определяются методом интерполяции), а при $K_т > 1,5$ – на 50 %.

6.9. Приведенные в табл. 14 крепи, кроме анкерных, могут быть использованы для сопряжений и сопрягающихся выработок с шириной, не превышающей 5–6,5 м в проходке.

Для более широких сопряжений и выработок необходимо принимать нестандартные технические решения, например, металлическую податливую крепь сопряжений набирать из нетиповых арок (из боковых стоек или арок со специальными вставками). Методика расчета несущей способности элементов крепи содержится в прил. 5, а их конструкция – в прил. 3.

7. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ СОПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

7.1. Выбор и расчет конструктивных параметров крепи сопряжений должен производиться на основе расчета нагрузок на крепь с учетом технологии проведения выработки и возведения крепи: при применении жесткой крепи по – п. 7.2, рамной податливой крепи – по п. 7.3, анкерной и рамноанкерной – по п. 7.4.

7.2. Для жестких видов крепи (бетонных, железобетонных и др.) расчетную нагрузку P определяют дифференцированно в кровле и почве (в вертикальном направлении), в боках (в горизонтальном), а при угле падения от 20 до 30° по нормали к напластованию – по формуле:

$$P = k_п k_н k_{пр} P^н, \qquad (27)$$

где $P^н$ – нормативная нагрузка на крепь, МПа, определяемая по графикам рис.14; $k_п$ – коэффициент перегрузки, принимаемый равным 1,05; 1,1; 1,25 соответственно для пород кровли I, II, III классов устойчивости (см. табл. 4); $k_н$ – коэффициент, принимаемый для вскрывающих выработок равным 1,1, а для остальных 1,0; $k_{пр}$ – коэффициент условий проведения, принимаемый равным 1 при буровзрывном способе проведения сопрягающихся выработок, а при комбайновом – по табл. 15.

Таблица 15

Отношение глубины к расчетной прочности, H/R_c, м/МПа	До 16	16–20	20–25	Более 25
Величина $k_{пр}$	0,6	0,8	0,9	1,1

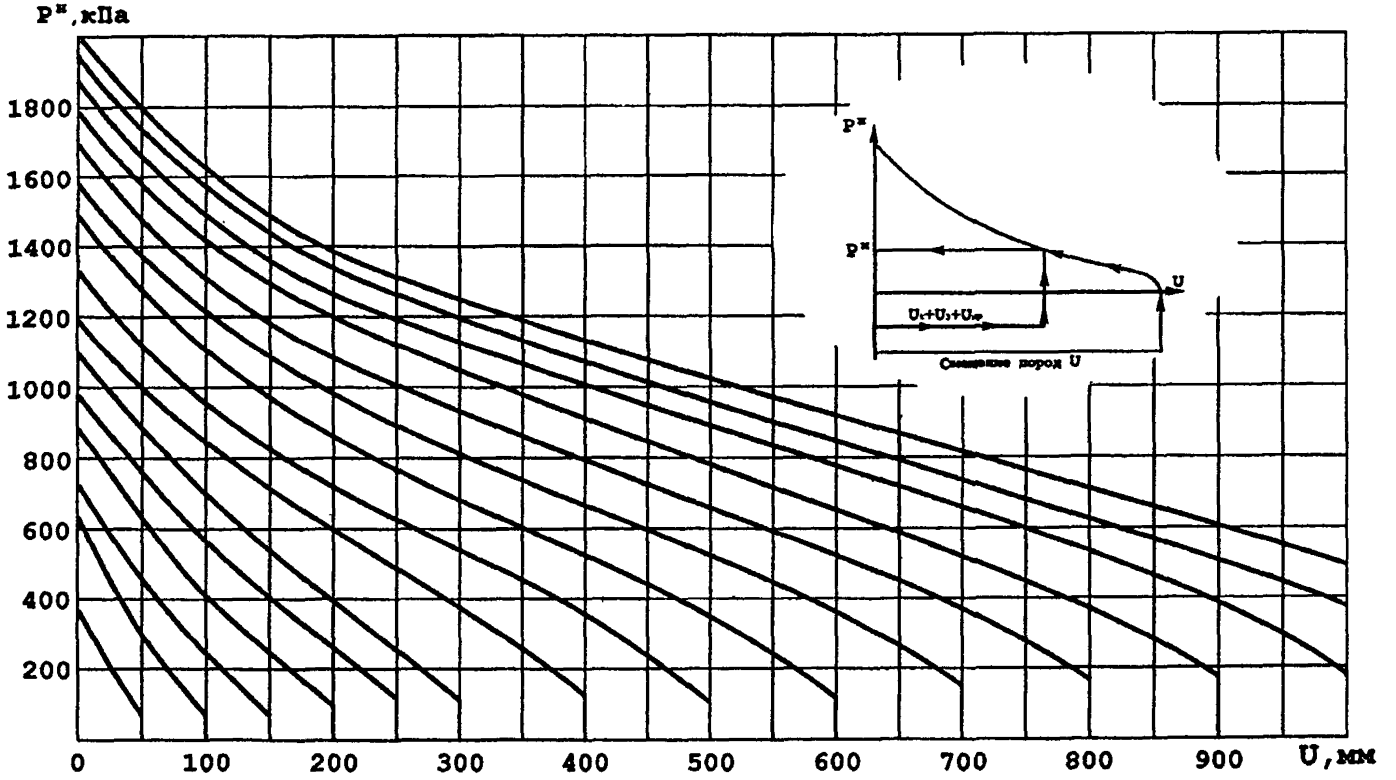


Рис. 14. Графики для определения нормативной нагрузки на жесткую крепь

Нормативную нагрузку $P^{н}$ определяют по графикам (см. рис. 14) в зависимости от расчетных смещений U (см. разд. 5) с учетом смещений пород до установки постоянной жесткой крепи U_t, сжатия забутовочного материала $U_з$ и конструктивной податливости крепи Δ.

Смещения, происходящие до установки крепи U_t, определяют по формуле:

$$U_t = Uk_t', \tag{28}$$

где k_t' – коэффициент влияния времени на смещения пород, определяемый по графикам рис. 15.

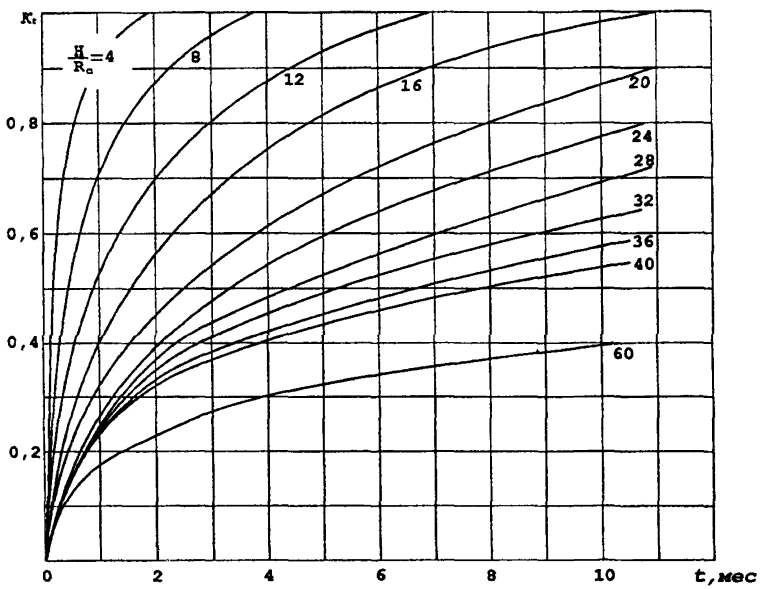


Рис. 15. Графики для определения коэффициента $k_т$ при $t < 1$ года

Смещения, компенсируемые за счет забутовочного материала $U_з$, зависят от сжимаемости материала, толщины забутовочного слоя, расчетной нагрузки на крепь и определяются опытным путем. Для забутовочного материала из дробленых пород, при отсутствии опытных данных, $U_з$ допускается принимать равным 25 % толщины забутовочного слоя.

Конструктивная податливость крепи Δ принимается по ее технической характеристике. Для монолитных бетонных, железобетонных (с гибкой арматурой) и металлобетонных типов крепи при определении Δ следует учитывать величину усадки и ползучести бетона при твердении,

которую следует принимать для сопряжений с пролетом до 6 м равной 40 мм, для сопряжений с пролетом более 6 м – 60 мм.

Если суммарные смещения за счет U_t, $U_з$ и Δ близки или больше значения U, то величину $P^н$ принимают равной нормативной нагрузке на податливую крепь, которую определяют по рис. 14 по величине ординаты точки перегиба линии $U - P^н$ (пунктирная линия).

При использовании монолитной бетонной крепи толщину стен следует принимать в зависимости от расчетной нагрузки, марки бетона и ширины сопряжения по графикам рис. 16. Толщина бетонной крепи в своде принимается на 30 % меньше, чем в стенах.

Если применяются монолитные железобетонные крепи с рамами из двутаврового профиля и толщиной бетона 300 мм, то плотность установки рам следует принимать по графикам рис. 17.

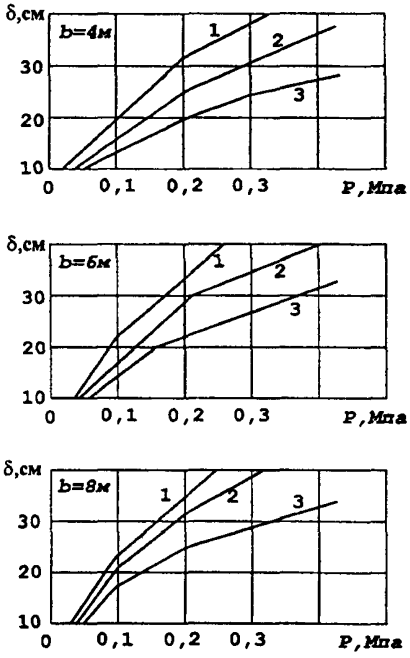


Рис. 16. Графики для выбора толщины монолитной бетонной сводчатой крепи в зависимости от расчетной нагрузки P, ширины выработки b и класса бетона:

1 – В12; *2* – В15, *3* – В25

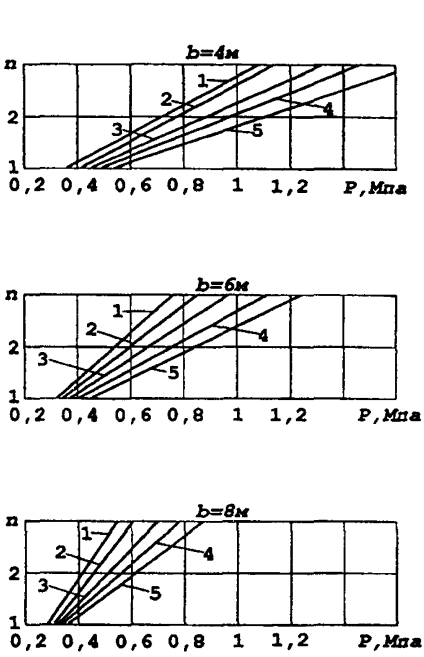


Рис. 17. Графики для выбора плотности установки двутавровых рам монолитной железобетонной крепи в зависимости от расчетной нагрузки P, ширины выработки b и номера двутаврового профиля:

1 – № 16; *2* – № 18; *3* – № 20; *4* – № 22; *5* – № 24

При замоноличивании податливых рамных металлических крепей бетоном или набрызгбетоном толщиной на 30–50 мм больше толщины

рам и связывании забутовочного материала песчано-цементным раствором их нормативную несущую способность допускается принимать, как для монолитных металлобетонных крепей с соответствующими параметрами толщины и прочности бетона и плотности металлических рам. Обязательным условием является перевод рам из податливого режима в жесткий перед их замоноличиванием путем установки опорных хомутов на стойках рам, сварки их узлов соединения и другими способами.

7.3. Расчетную нагрузку на 1 м при рамной податливой крепи сопряжения со стороны кровли и почвы следует определять по формуле (29), а со стороны боков – (30):

$$P = P^{н} k_{п} k_{н} k_{пр} b; \qquad (29)$$

$$P = P^{н} k_{п} k_{н} k_{пр} h, \qquad (30)$$

где $P^{н}$ – нормативная удельная нагрузка, определяемая по рис. 18 в зависимости от расчетных смещений пород U и ширины сопряжения в проходке b (для незамкнутой крепи $P^{н}$ находят по смещениям пород кровли, для замкнутой с обратным сводом – по наибольшей величине смещений пород кровли, почвы или боков); b и h – ширина и высота сопряжения, м; $k_{п}$ и $k_{н}$ – коэффициенты перегрузки и надежности, принимаемые по п. 7.2; $k_{пр}$ – коэффициент влияния способа проведения, принимаемый по п. 7.2.

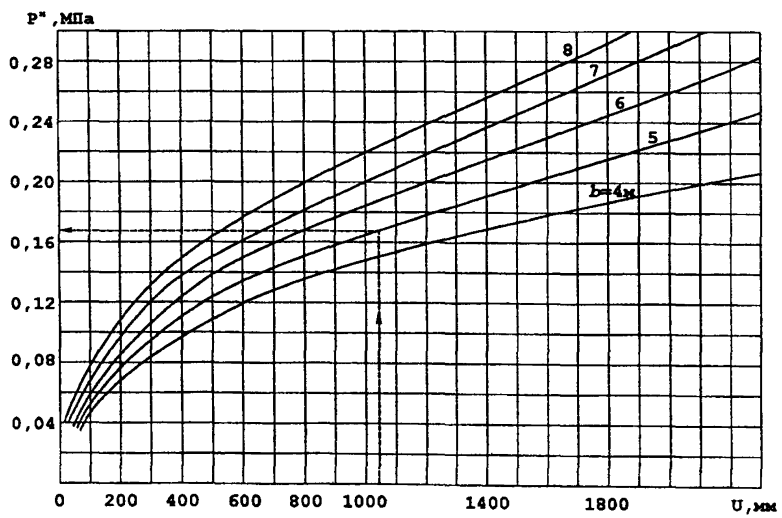


Рис. 18. Графики для определения нормативной нагрузки на податливую крепь

Тип металлической податливой крепи для сопряжений с шириной в проходке, не превышающей 6,5 м, следует выбирать по прил. 4 на основании ширины сопряжения с учетом состояния окружающих пород. При пучащих породах почвы следует применять замкнутую (кольцевую) крепь, если не проводятся другие мероприятия по уменьшению смещений почвы.

Для выбранной крепи находят величину ее сопротивления в податливом режиме N_s в зависимости от типа принятого замкового соединения (прил. 4).

Плотность установки рам металлической податливой крепи на 1 м длины сопряжения находят делением расчетной нагрузки P на сопротивление одной рамы крепи N_s:

$$n = P/N_s. \qquad (31)$$

Паспортную плотность установки крепи принимают по ближайшему значению n в ряду: 0,8; 1,0; 1,25; 1,33; 1,43; 1,5; 1,67; 2,0; 2,25; 2,5; 2,67; 3,0; 4,0.

Предельной плотностью установки металлической рамной податливой крепи следует считать 3 рамы/м. При $n > 2$ рам/м крепь необходимо выбирать с учетом снижения смещений пород за счет дополнительных мер по активному управлению горным давлением (установка средств усиления крепи, анкерование кровли, тампонаж закрепного пространства, цементация вмещающих пород и др.).

По податливости металлическую крепь необходимо выбирать на основании максимальных расчетных смещений горных пород на контуре поперечного сечения сопряжения. При пологом падении максимальными являются смещения кровли $U_{кр}$.

Если расчетная плотность установки крепи не более 1 рамы/м, то ее податливость следует принимать из условия:

$$\Delta + 250 \geq U_{кр}, \qquad (32)$$

где 250 – смещения за счет забутовки, мм; Δ – конструктивная податливость крепи, мм (см. прил. 4); $U_{кр}$ – расчетные смещения пород кровли, мм.

Если плотность установки крепи, рассчитанная по формуле (31), превышает 1 раму/м, а также при использовании дополнительных средств усиления, податливость крепи принимают менее расчетных смещений пород кровли из условия: $\Delta + 250 \geq U_{кр}k_{ос}$ (при установке в выработке только основной крепи); $\Delta + 250 \geq U_{кр}k_{ос}k_{ус}$ (при установке в выработке основной крепи и средств ее усиления); $\Delta + 250 \geq U_{кр}k_{ос}k_{анк}$ (при одновременной установке рамной и анкерной крепей), где $k_{ус}$, $k_{ос}$, $k_{анк}$ – коэффициенты, выбираемые в зависимости от плотности установки рамной крепи, средств усиления или анкерной крепи (таблицы 16–18).

Таблица 16

Основная крепь

P, МН/м	0,15 и менее	0,20	0,25	0,30	0,35	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80 и более
k_{oc}	1,0	0,95	0,92	0,89	0,85	0,80	0,72	0,67	0,63	0,55	0,50

Таблица 17

Средства усиления основной крепи (металлические стойки)

P, МН/м	Менее 0,12	0,12	0,20	0,25	0,28	0,31	0,33	0,36	0,42	0,50	0,62	0,75
n, стоек/м	Менее 0,5	0,5	0,8	1,0	1,1	1,25	1,33	1,43	1,67	2,0	2,5	3,0
k_{yc}	1,0	0,90	0,80	0,70	0,68	0,65	0,64	0,63	0,62	0,60	0,55	0,50

Таблица 18

Анкерная крепь (из расчета 1 анкер/м² с N_s = 0.08 МН)

P, МН/м	–	0,024–0,04	0,064	0,08	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16
Анкер/м²	–	0,3–0,5	0,8	1,0	1,25	1,33	1,50	1,75	2,0
$k_{анк}$	1,0	0,95	0,90	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50

Для сопряжений с шириной в проходке, превышающей 6,5 м, металлическая арочная крепь набирается из нетиповых арок, например, из боковых стоек или из арок со специальными вставками (прил. 3). Элементы крепи соединяют с помощью трех хомутов, при этом крутящий момент затяжки гаек хомутов должен составлять не менее 100–150 Нм.

Для такой крепи несущую способность одной арки в податливом режиме N_s (кН) следует рассчитывать по полуэмпирической формуле:

$$N_s = (10+16\Delta)\sqrt{W_x}\sqrt{\left(\frac{10\sigma_т}{l_a\sqrt{W_x}}\right)^2 + \left[n_o - \left(\frac{10\sigma_т}{l_a\sqrt{W_x}}\right)^2\right]\left(\frac{4f_a}{l_a}\right)^2}, \qquad (33)$$

где Δ – податливость крепи, принимаемая обычно $\Delta \le 0{,}4$ м; W_x – момент сопротивления спецпрофиля, см³; $\sigma_т$ – предел текучести стали; f_a – стрела подъема арки на уровне боковых узлов податливости, см; n_o – число хомутов в узле податливости крепи; в обычной крепи $n_o = 2$, в крепи сопряжения $n_o = 3$; l_a – ширина арки на уровне боковых узлов податливости, см.

Несущая способность арки при всех прочих равных условиях снижается при уменьшении отношения f_a/l_a. Для обычной арочной крепи

$f_в/l_а$ = 0,25–0,3. Для четырехзвенной крепи сопряжения, комплектуемой из стандартных боковых стоек (верхняя арка состоит из двух стоек) $f_в/l_а$ = 0,18–0,20.

Плотность установки рам крепи n и проверку крепи на податливость Δ следует выполнять по п. 7.3.

7.4. Расчет параметров анкерной крепи и дополнительных средств ее усиления для сопряжений должен производиться в зависимости от интенсивности горного давления, способа и параметров их охраны от влияния очистных работ, прочности, трещиноватости и устойчивости пород в кровле.

7.4.1. В качестве критерия интенсивности горного давления для расчета крепи следует принимать расчетные смещения кровли с анкерной крепью $U_а$, определяемые для сопряжения вне влияния очистных работ и в зоне их влияния соответственно по формулам:

$$U_а = 0{,}5k_а U_о, \tag{34}$$

$$U_а = 0{,}5k_а U_{кр}, \tag{35}$$

где $k_а$ – коэффициент, учитывающий степень связывания и упрочнения пород различными конструкциями анкеров, принимаемый равным 1 – для замковых клинораспорных анкеров и 0,5 – для сталеполимерных анкеров, закрепляемых по всей длине скважины; $U_о$ – смещения пород на сопряжениях вне влияния очистных работ, определяемые по формуле (5); $U_{кр}$ – смещения пород на сопряжениях в зоне влияния очистных работ, определяемые по формулам (11)–(24) и п. 5.1.

В условиях, где расчетные смещения превышают 300 мм, преимущественно при поддержании сопряжений на границе с выработанным пространством и охране их разрушающимся целиком, расчет параметров анкерной крепи производится из требования обеспечения максимальных смещений кровли не более 300 мм.

7.4.2. В условиях небольшого горного давления при расчетных смещениях кровли до 50 мм сопротивление анкерной крепи $P_а$ и длину анкеров $l_а$ следует принимать в зависимости от типа кровли по табл. 19.

7.4.3. В условиях горного давления средней интенсивности и интенсивного при расчетных смещениях кровли до 300 мм сопротивление анкерной крепи $P_а$ и длину $l_а$ следует определять:

– при I типе кровли по номограмме, приведенной на рис. 19;

– при II типе кровли $P_а$ следует принимать в соответствии с номограммой (см. рис. 19), а длину анкеров по табл. 19;

– при III типе кровли сопротивление крепи и длину анкеров следует принимать на 10 % больше по сравнению с расчетными по номограмме (см. рис. 19).

7.4.4. Для обеспечения рабочего состояния сопряжений выемочных выработок с очистным забоем и сопряжений подготавливающих выработок в зоне влияния очистных работ при расчетных смещениях $U_{кр}$ > 300 мм анкерную крепь следует усиливать рамной крепью, податливыми стойками

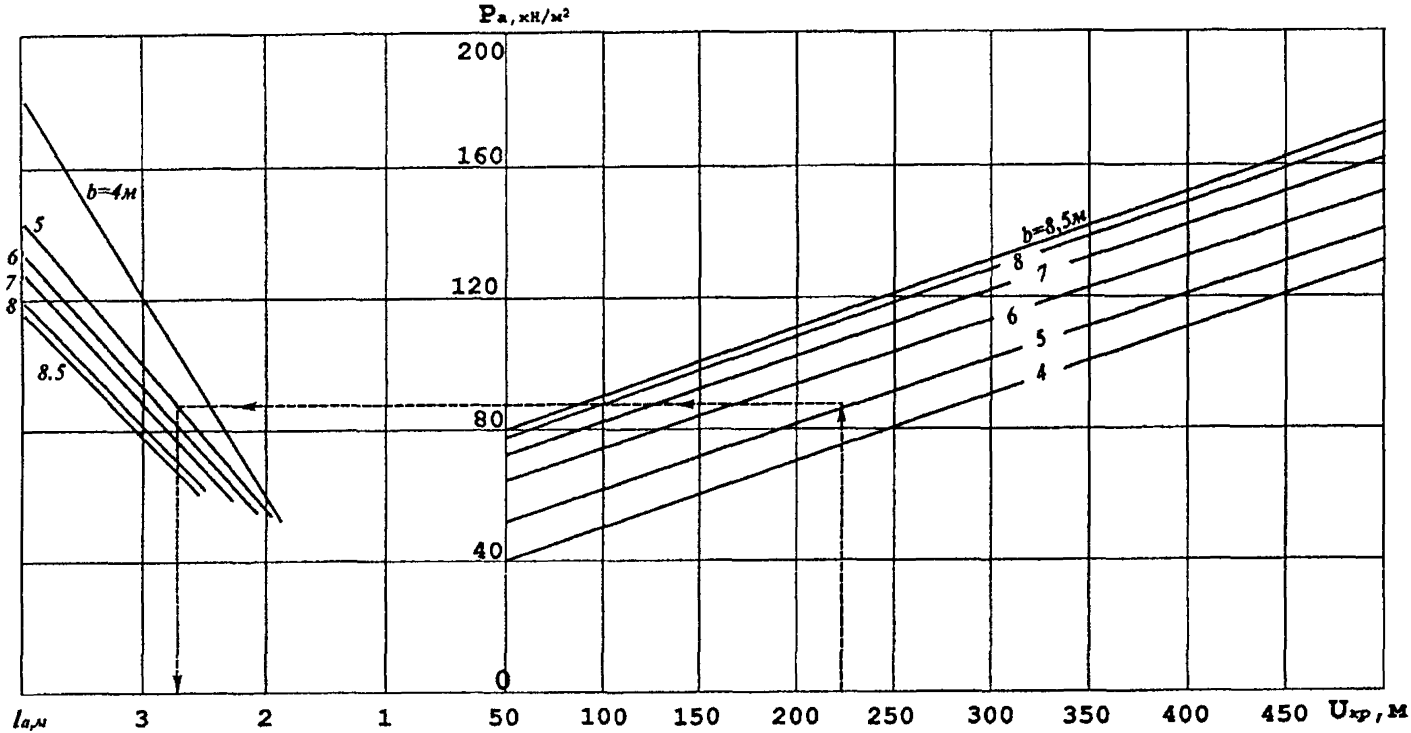


Рис. 19. Номограмма для определения параметров анкерной крепи в кровле сопряжения (пунктирной линией показан ключ к определению $P_а$ и $l_а$ по расчетным значениям $U_{кр}$)

Таблица 19

Расчетная ширина сопряжений в проходке b, м	Сопротивление анкерной крепи $P_а$ при типах кровли, кН/м²		Длина анкеров $l_а$ при типах кровли и мощности непосредственной кровли $h_{н.к}$, м			
	I и II	III	I	II		III
				$h_{н.к} < 0{,}2b$	$h_{н.к} > 0{,}2b$	
4,0	45	50	2,0	1,5	1,7	2,3
4,5	50	55	2,2	1,6	1,8	2,4
5,0	55	60	2,3	1,7	2,0	2,6
5,5	60	65	2,4	1,8	2,1	2,8
6,0	65	71	2,5	1,9	2,2	2,9
6,5	70	77	2,6	2,0	2,3	3,0
7,0	75	83	2,7	2,2	2,4	3,2
8,0	80	90	2,8	2,4	2,6	3,4
8,5	85	97	3,0	2,6	2,8	3,6

Примечание. При II типе кровли приведенные в таблице параметры длины анкеров $l_а$, соответствуют мощности непосредственной кровли $h_{н.к}$ до $0{,}3b$ и закреплению анкеров в устойчивых прочных породах мощностью более 0, 5 м.

или дополнительными анкерами. При этом параметры основной анкерной крепи принимают по номограмме (см. рис. 19) для $U_{кр}$ = 300 мм, а крепь усиления рассчитывается по формулам:

для податливых стоек и рам

$$P_{к.у} = 1{,}5(P_{max} - P_а); \tag{36}$$

для дополнительных анкеров

$$P_{к.у} = P_{max} - P_а; \tag{37}$$

$$l_{а.у} = l_{max}, \tag{38}$$

где $P_{к.у}$ – сопротивление крепи усиления, кН/м²; $l_{а.у}$ – длина дополнительного анкера усиления, м; P_{max} и l_{max} – параметры сопротивления анкерной крепи и длины анкеров, требуемые по расчетным смещениям кровли $U_{кр}$ в продолжение всего срока службы, определяются по номограмме, см. рис. 19; $P_а$ – сопротивление установленной при проходке анкерной крепи, кН/м².

7.4.5. В качестве критерия интенсивности горного давления для расчета крепи в боках сопряжений следует принимать степень относительной напряженности пород и пласта $\sigma_б$, определяемую по формуле:

$$\sigma_б = k_1 k_2 k_o \gamma H / R_{с.б}, \tag{39}$$

где γ – средний объемный вес пород, принимаемый равным 0,025 МН/м³; H – глубина расположения сопряжений от поверхности (см. п. 3.2), м; $R_{с.б}$ – расчетное сопротивление слоев, пласта и пород в боках на сжатие, МПа; k_1 – коэффициент концентрации напряжений в боках при

проходке и поддержании сопряжений, принимаемый: для сопряжений с пересекающимися выработками – 1,6 (см. рис.1, *а, б, з*); для сопряжений с примыкающими выработками – 1,4 (см. рис. 1, *в, г, д, е, ж, и, к, л, м*); для сопряжений выемочных выработок с очистным забоем (см. рис. 3) – 2,3 при III типе кровли, 3,0 при I типе, 4,5 при II типе кровли; k_2 – коэффициент увеличения напряжений в боках сопряжений от других выработок, который при $l \geq 15$ м равен 1, а при $l < 15$ м определяется по формуле: $k_2 = 2 - l/15$ (l – расстояние до влияющей выработки); k_o – коэффициент увеличения напряжений в боках сопряжений при расположении их в зоне влияния опорного давления от очистных работ, который при $l_ц \geq 0{,}1H$ равен 1, а при ширине целика $l_ц$ менее $0{,}1H$ определяется по формуле:

$$k_o = 1 + (k_{o.max} - 1)\,(0{,}1H - l_ц)/\,0{,}1H, \qquad (40)$$

где $k_{o.max}$ принимается равным 2 при I и III типах кровли и равным 3 при II типе кровли. Для сопряжений выемочных выработок с очистным забоем (см рис. 3) коэффициенты k_2 и k_o в формуле (39) следует принимать равными 1.

В условиях, где напряженность в боках меньше расчетного сопротивления сжатию всех, в том числе и наиболее слабых слоев пород и угля в боках ($\sigma_б = k_1 k_2 k_o \gamma H / R_{с.б.min} < 1$), крепление боков анкерной крепью не предусматривается, за исключением острых углов сопряжений, особенно в капитальных выработках с длительным сроком службы, где следует устанавливать анкеры длиной 1–1,2 м с сопротивлением 10–15 кН/м².

В условиях, где напряженность в боках $\sigma_б$ превышает расчетное сопротивление сжатию только слабых пород и угля общей мощностью до 1,5 м, но меньше сопротивления сжатию других пород, следует предусматривать установку в этих породах (пласте) анкерной крепи, причем сопротивление анкерной крепи $P_{а.б}$ и длину анкеров $l_{а.б}$ на сопряжениях можно принимать без расчета соответственно равными 20 кН/м² и 1,5 м. На острых углах сопряжений в капитальных выработках с длительным сроком службы сопротивление крепи и длину анкеров следует увеличить в 1,5 раза, а расстояние между рядами анкеров принимать 1–1,2 м.

В условиях, где напряженность в боках превышает среднее расчетное сопротивление сжатию пласта мощностью больше 1,5 м или всех расположенных в боках слоев пород и угля, которое определяется по формуле:

$$R_c = (R_{c1} m_1 + R_{c2} m_2 + \ldots + R_{cn} m_n) K_c / h, \qquad (41)$$

бока сопряжений в пласте или на всей высоте h должны быть закреплены анкерной крепью с параметрами сопротивления $P_{а.б}$ и длиной анкеров $l_{а.б}$, определяемыми по номограмме рис. 20. На острых углах сопряжения сопротивление крепи следует увеличить в 1,5 раза по сравнению с рассчитанными по номограмме (см. рис. 20).

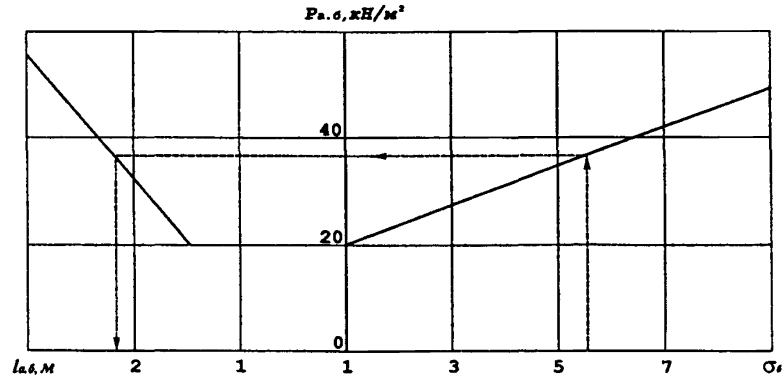


Рис. 20. Номограмма для определения параметров анкерной крепи в боках сопряжения (пунктирной линией показан ключ к определению $P_{а.б}$ и $l_{а.б}$ по расчетным значениям $\sigma_б$)

Для надежного поддержания сопряжений сбоек парных выработок с угольным целиком шириной 2,5–3m, а также сопряжений присечных выработок с защитной полосой угля, во всех условиях необходимо устанавливать анкерную крепь с закреплением анкеров по всей длине скважин, с длиной анкеров 2,5 м, сопротивлением 60 кН/м² и податливостью 70 мм.

При проходке сопряжений на ударо- и выбросоопасных пластах для исключения перегрузки анкеров они должны устанавливаться с демпфирующими податливыми элементами или иметь конструктивную податливость 40–50 мм.

7.4.6. При выборе конструкций анкерной крепи следует руководствоваться положением разд. 5 действующей Инструкции по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России (СПб., 2000).

По выбранным конструкциям анкеров и по определяемым для них расчетной несущей способности $N_а$, сопротивлению анкерной крепи в кровле $P_{а.к}$ и в боках $P_{а.б}$ и принятому количеству анкеров в рядах кровли $n_к$ и боках $n_б$ рассчитывается требуемое расстояние между рядами устанавливаемых при проходке анкеров в кровле $C_к$ и в боках $C_б$ по формулам:

$$C_к = n_к N_{а.к} / P_{а.к}\, b; \qquad (42)$$

$$C_б = n_б N_{а.б} / P_{а.б}\, h. \qquad (43)$$

Примечания: 1. При разрушении только отдельных слабых пород (пласта) в боках, вместо высоты сопряжения h допускается подставлять в формулу (43) значение их мощности $m_р$.

2. При проектировании анкерной крепи количество анкеров в рядах в кровле следует принимать в зависимости от расчетной ширины сопряжений b, и их количество в рядах должно состав-

лять, как правило, от 4 до 5 при $4 < b < 5$ м; от 5 до 6 при $5 < b < 6$ м; от 6 до 7 при $6 < b < 7$ м и от 7 до 8 при $7 < b < 8{,}5$ м.

3. Количество анкеров в боках в ряду следует принимать в зависимости от мощности разрушающихся пород $m_р$ и должно составлять, как правило, 1 при $m<1{,}0$ м; 2 при $1{,}0<m<2{,}0$ м; 3 и более при $m > 2$ м.

4. Анкеры в кровле целесообразно располагать с отклонением крайних анкеров от нормали к напластованию на угол 15–20° и на расстоянии их от боков не более 0,3 м.

5. Анкеры в боках следует располагать так, чтобы они пересекали наиболее слабые слои угля и пород, т. е. с отклонением от напластования на угол 15–30°, расстояние от кровли сопряжения до верхнего ряда анкеров должно быть не более 0,5 м.

7.4.7. Производится сравнение расчетного шага установки анкеров по условию интенсивности горного давления с требуемым по условию минимальной плотности установки анкеров П в зависимости от степени устойчивости пород в кровле и степени разрушения боков, которая составляет: 1 анк./м² при неустойчивых; 0,7 анк./м² при средней устойчивости; 0,5 анк./м² при устойчивых породах в непосредственной кровле и 0,4 анк./м² при разрушающихся породах в боках. По условию устойчивости пород, шаг установки анкеров соответственно в кровле и боках определяется по формулам:

$$C_к = n_к/Пb; \quad (44)$$

$$C_б = n_б/Пh. \quad (45)$$

Проектный шаг установки анкерной крепи в кровле и боках при проходке принимают по наименьшим значениям, рассчитываемым в пп. 7.7 и 7.8, и округляют до второго знака. Например, при расчетном $C_к = 1{,}27$ м, проектное $C_к$ принимают 1,2 м.

7.4.8. По принятому проектному шагу установки анкерной крепи в кровле, в паспортах с ее усилением дополнительной анкерной крепью, рамами или стойками усиления производится расчет требуемого количества в рядах усиливающих анкеров, рам или стоек по формулам:

$$n_{у.а} = C_к b P_{к.у}/N_а; \quad (46)$$

$$n_{у.с} = C_к b P_{к.у}/N_s, \quad (47)$$

где $P_{к.у}$ принимают в соответствии с расчетными для различных сопряжений по п. 7.5, $N_а$ – несущая способность анкера, кН; N_s – несущая способность рамной крепи или стоек усиления, кН; $N_а$ и N_s принимают в расчет согласно их паспортным данным.

Полученное расчетом проектное количество усиливающих анкеров, рам или стоек округляют в большую сторону до 0,5, например, при расчетном $n_{у.а} = 2{,}3$ принимают $n_{у.а} = 2{,}5$ с установкой в одном ряду двух анкеров, а в смежном – трех.

Примеры расчета поддержания сопряжений различными видами крепи приведены в прил. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Указания** по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 222 с.

2. **Инструкция** по выбору рамных податливых крепей горных выработок. – СПб.: ВНИМИ, 1991. – 125 с.

3. **СНиП 11-94-80.** Подземные горные выработки / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 272 с.

4. **Заславский Ю. З., Зорин А. Н., Черняк И. Л.** Расчеты параметров крепи выработок глубоких шахт. – М.: Недра, 1988. – 214 с.

5. **Руководство** по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 31 с.

6. **Инструкция** по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России. – СПб.: ВНИМИ, 2000. – 70 с.

7. **Руководство** по определению параметров крепи сопряжений горизонтальных и наклонных выработок для условий шахт Восточного Донбасса. – СПб.: ВНИМИ, 1996. – 90 с.

8. **Методические указания** по управлению геомеханическим состоянием пород в период формирования и проявления первых осадок кровли. – Л.: ВНИМИ, 1986. – 31 с.

9. **А. с. 977799.** СССР. Комбинированная крепь / Ю. М. Басинский, М. П. Морозов, В. А. Борисовец. – Заявл. 16.06.81 г., №3304948/ 22-03. Опубл.30.11.82 г. Б.И. № 44.

10. **Патент РФ №929861.** Способ крепления сопряжений и выработок большого сечения / В. Н. Рева, Л. К. Нейман, А. П. Белоусов, В. А. Смирнов, Е. А. Самойлов, Е. В. Корольков, Г. П. Шевчук. 1993.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ СОПРЯГАЮЩИХСЯ ВЫРАБОТОК

Максимальные значения коэффициента вредного воздействия сопрягающихся выработок друг на друга $k_в$ изменяются в пределах 1,2–1,6 в зависимости от вида сопряжений (см. п. 5.1, табл. 8).

Для определения промежуточных значений $k_в$ на разных расстояниях от узла сопряжения рекомендуется графический метод, показанный на рис. 21, согласно которому по осям абсцисс, параллельным соответственно осям выработок, откладывают отрезки, равные величине зон влияния сопряжений (l_1, l_2 ...), а по оси ординат – максимальной величине $k_в$. Точки с максимальными значениями $k_в$ соединяют прямой линией с точками, имеющими значение $k_в = 1$. Ордината любой точки на прямой, в зависимости от удаления её от узла сопряжения, определяет величину $k_в$.

Зона влияния сопряжения (l_1, l_2 ...) определяется расстоянием от узла сопряжения, ограниченного размером l_c до точки пересечения линии $l_д$ с выработкой (см. рис. 21). Отрезок $l_д$, равный допустимому расстоянию, определяемому по формуле (4), характеризует расстояние между сопрягающимися выработками по сечению, ориентированному под одинаковыми углами к осям выработок. Чем меньше угол θ, тем на большее расстояние l распространяется взаимное влияние.

Вместо входящей в формулу (4) суммы параметров ($b + c$) следует принимать суммарную ширину сопрягающихся выработок ($b_1 + b_2$), где b_1 и b_2 – ширина сопрягающихся выработок в проходке.

Расчетные схемы на рис. 21 выполнены для наиболее распространенных видов сопряжений применительно к конкретным условиям: $H = 700$ м, $R_c = 60$ МПа, $b_1 = b_2 = 5$ м, $k_L = 2{,}5$, $l_д = 10 \cdot 2{,}5 = 25$ м, $\theta = 40–90^\circ$.

При изменении указанных условий соответственно изменяются и величины зон взаимовлияния l.

Протяженность участков взаимовлияния может быть вычислена также по формуле:

$$l = \frac{l_д}{2\sin\theta/2}.$$

Если зона взаимовлияния $l \le 20$ м, то в сопрягающихся выработках на всем их протяжении участков взаимовлияния, включая узел сопряжения (l_c), тип и параметры крепи принимаются одинаковыми. При $l > 20$ м тип и параметры крепи на участках взаимовлияния до 20 м принимаются как указано выше, а от 20 м и до конца этих участков рассчитываются в зависимости от ожидаемых смещений пород и действующих при этом нагрузок. В расчеты следует брать коэффициент $K_в$ как среднюю величину на этих участках, а коэффициент $K_ш$ определять по фактической ширине и высоте сопрягающихся выработок в проходке.

В табл. 20 приведены расчетные схемы и формулы для определения максимального пролета сопряжений B (см. п. 3.6).

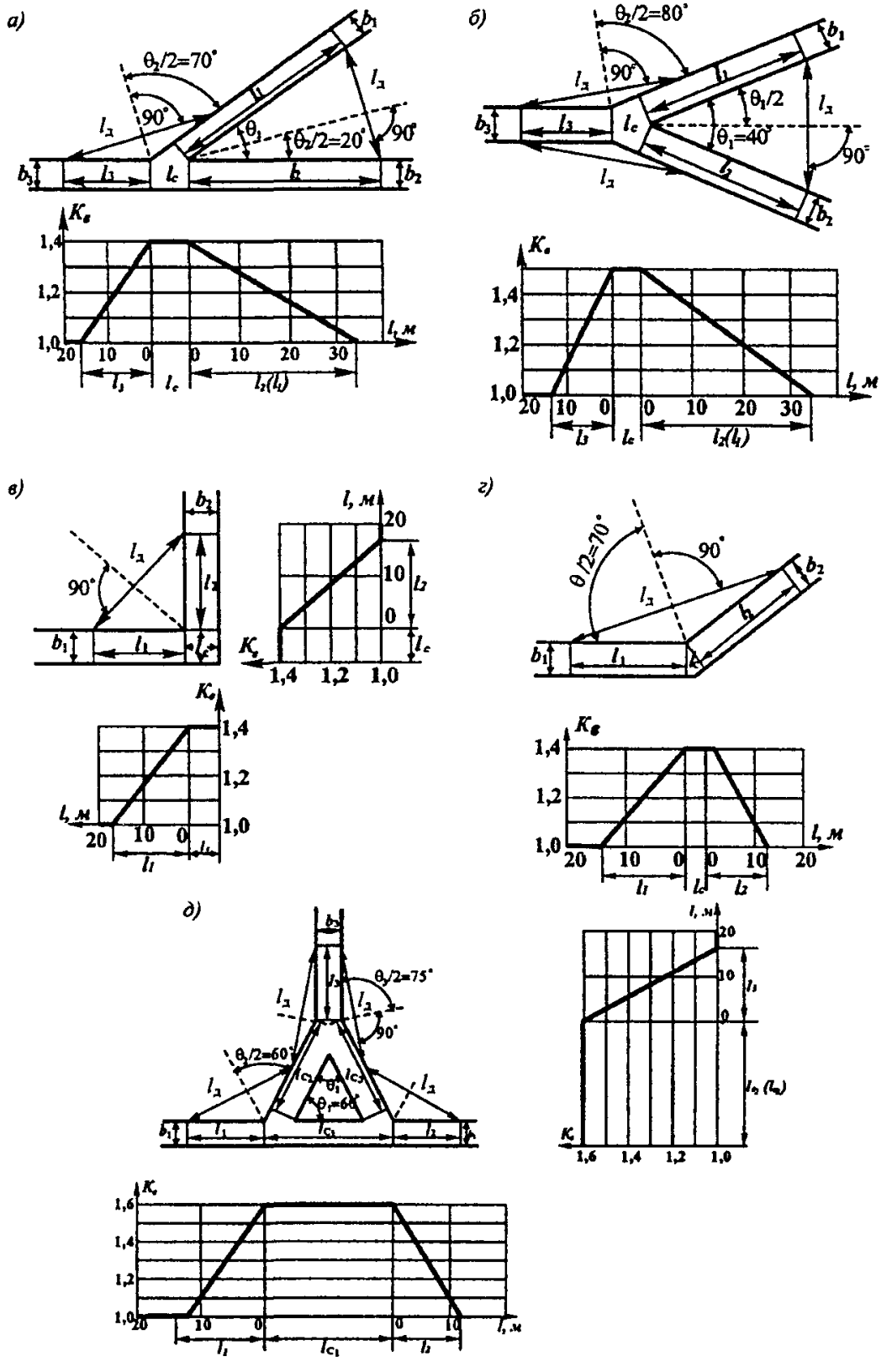


Рис. 21. Расчетные схемы к определению зон ваимовлияния сопрягающихся выработок:

а – остроугольное ответвление, *б* – соединение двух выработок в одну (разветвление); *в* – прямоугольное примыкание; *г* – тупоугольное примыкание, *д* – сопряжение «треугольный узел»,

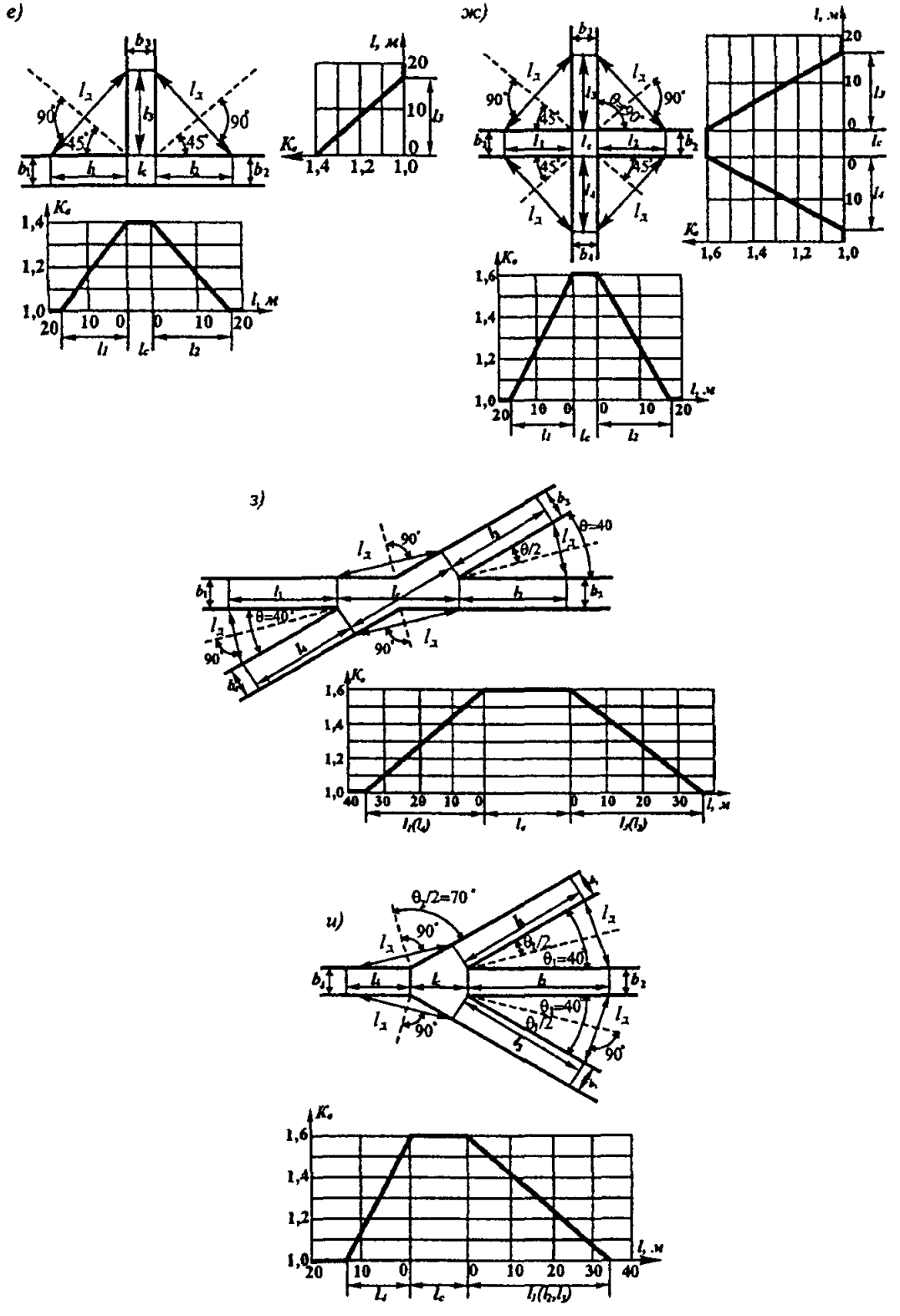
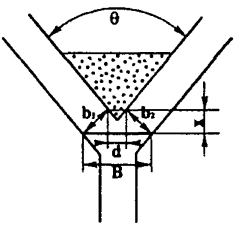
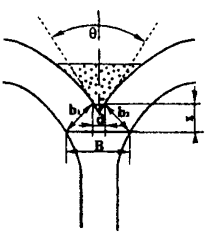
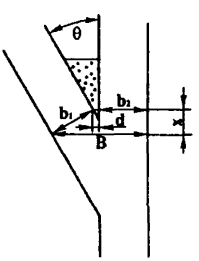


Рис. 21. (*Продолжение*):

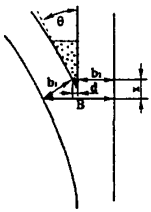
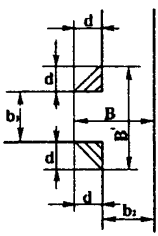
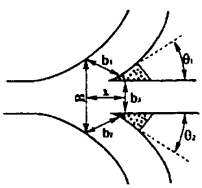
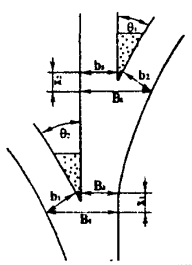
е – прямоугольное ответвление; *ж* – прямое пересечение, *з* – косое пересечение; *и* – двустороннее ответвление

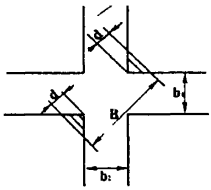
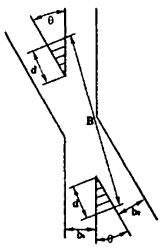
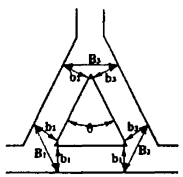
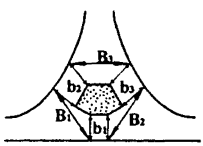
Таблица 20

Расчетные схемы и формулы для определения пролета сопряжений *B*

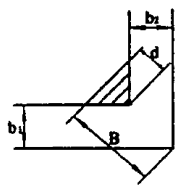
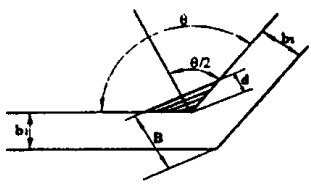
Вид сопряжения	Варианты расчета	Формулы
Соединение двух выработок в одну (разветвление)		
1. Под углом 	$b_1 = b_2 = b$	$B = 2b\cos\frac{\theta}{2} + d$ $x = b\sin\frac{\theta}{2}$
2. По кривым 	$b_1 > b_2$	$B = 2b_1\cos\frac{\theta}{2} - \frac{(b_1 - b_2)}{\cos\frac{\theta}{2}} + d$ $x = b_1\sin\frac{\theta}{2}$
Ответвление выработок		
1. Остроугольное 	$b_1 = b_2 = b$	$B = b(1 + \cos\theta) + d$ $x = b\sin\theta$

Продолжение табл. 20

Вид сопряжения	Варианты расчета	Формулы
2. По кривой 	$b_1 \neq b_2$	$B = b_1\cos\theta + b_2 + d$ $x = b_1\sin\theta$
3. Прямоугольное 	$b_1 > b_2$ $b_1 < b_2$	$B' = b_1 + 2d$ $B = b_2 + d$
4. Двухстороннее 	$b_1 = b_2 = b$ $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ $b_1 > b_2$ $\theta_1 = \theta_2 = \theta$	$B = 2b\cos\theta + b_3 + 2d$ $x = b\sin\theta$ $B = 2b_1\cos\theta + b_3 - \frac{(b_1 - b_2)}{\cos\theta} + 2d$ $x = b_1\sin\theta$
5. Двухстороннее с разносом выработок 	$b_1 = b_2 = b_3 = b$ $\theta_1 = \theta_2$ $b_3 \neq b_1$ $b_3 \neq b_2$ $b_1 \neq b_2$ $\theta_1 \neq \theta_2$	$B_1 = B_2 = b(1 + \cos\theta) + d$ $x_1 = x_2 = b\sin\theta$ $B_1 = b_1\sin\theta_1 + b_3 + d$ $x_1 = b_1\sin\theta_1$ $B_2 = b_2\sin\theta_2 + b_3 + d$ $x_2 = b_2\sin\theta_2$

Вид сопряжения	Варианты расчета	Формулы
Пересечение выработок		
1. Прямое		
	$b_1 \neq b_2$	$B = \sqrt{b_1^2 + b_2^2} + 2d$
	$b_1 = b_2 = b$	$B = 1{,}41b + 2d$
2. Косое		
	$b_1 = b_2 = b$	$B = \dfrac{b}{\sin\dfrac{\theta}{2}} + 2d$
	$b_1 \neq b_2$ $b_1 > b_2$	$B = \sqrt{b_1^2 + (b_1 \operatorname{ctg}\theta + b_2 \operatorname{cosec}\theta)^2 + 2d}$
Сопряжение трех выработок (треугольный узел)		
1. Под углами		
	$b_1 = b_2 = b_3 = b$ $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$ $B_1 = B_2 = B_3 = B$	$B = 2b\cos\dfrac{\theta}{2} + d; x = b\sin\dfrac{\theta}{2}$ $B_1 = 2b_1\cos\dfrac{\theta_1}{2} - \dfrac{(b_1 - b_2)}{\cos\dfrac{\theta_1}{2}} + d$ $x_1 = b_1\sin\dfrac{\theta_1}{2}$
2. По кривой		$B_2 = 2b_2\cos\dfrac{\theta_2}{2} - \dfrac{(b_1 - b_3)}{\cos\dfrac{\theta_2}{2}} + d$
	$\theta_1 = \theta_2$ $b_2 = b_3$ $b_2 < b_1$ $b_3 < b_1$	$x_2 = b_1\sin\dfrac{\theta_2}{2}$ $B_3 = 2b_2\cos\dfrac{\theta_3}{2} + d; x_3 = b_2\sin\dfrac{\theta_2}{2}$

Окончание табл. 20

Вид сопряжения	Варианты расчета	Формулы
Примыкание выработок		
1. Прямоугольное 	$b_2 \neq b_1$	$B = \sqrt{b_1^2 + b_2^2} + d$
	$b_1 = b_2 = b$	$B = 1{,}41b + d$
2. Тупоугольное 	$b_1 = b_2 = b$	$B = \dfrac{b}{\sin\dfrac{\theta}{2}} + d$
	$b_2 \neq b_1$	B – определяется графически

Примечание: 1) b_1, b_2, b_3, b – ширина сопрягаемых выработок в проходке; 2) θ_1, θ_2, θ_3, θ – углы ответвления сопрягаемых выработок; 3) d – зона разрушения углов между выработками от ведения взрывных работ (для условий $\theta > 45°$ $d = 0{,}5 - 0{,}1$ м); 4) B – максимальная ширина сопряжения в проходке (пролет); 5) x – расстояние от лобовой опоры до линии максимального пролета.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ СОПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

1. Выбор типа и расчет параметров крепи сопряжения грузовой ветви с заездом в камеру электростанции (название здесь и далее в примерах условное)

У с л о в и я. Глубина расположения сопряжения от земной поверхности $H = 800$ м. Угол падения пород $\alpha = 10°$. Характеристика слоев пород (мощность слоев m, сопротивление пород сжатию R в образце) показана на рис. 22.

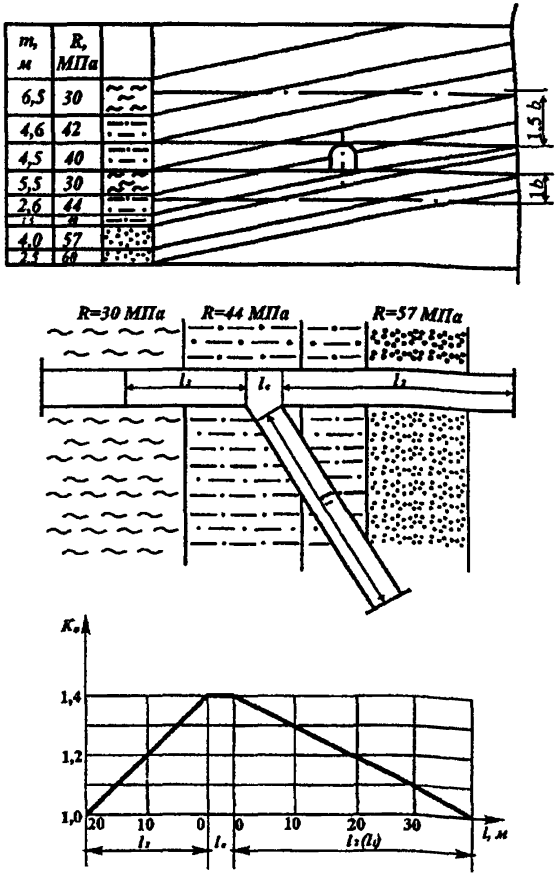


Рис. 22. Схема к примеру 1

Ширина и высота грузовой ветви в проходке: b = 6,2 м, h = 3,8 м. Ширина и высота заезда в проходке: b = 4,6 м, h = 3,2 м. Грузовая ветвь пройдена вкрест простирания пород. Угол примыкания грузовой ветви и заезда θ = 60° (остроугольное ответвление). Срок службы горизонта t = 15 лет. Выработки сухие, находятся вне тектонических нарушений, охраняются от влияния очистных работ предохранительными угольными целиками. Способ проведения – буровзрывной. Смежные выработки, параллельные грузовой ветви, расположены на расстоянии более 50 м от сопряжения.

Р е ш е н и е. 1. В соответствии с исходными данными о тектонической нарушенности и обводненности принимаем K_c = 0,9; $K_{вл}$ = 1.

Тогда определим расчетное сопротивление сжатию R_c каждого слоя пород в пределах 1,5b в кровле и 1b в почве (п. 3.7):

R_{c1} = 42·0,9·1 ≈ 38 (МПа) – кровля;

R_{c2} = 40·0,9·1 ≈36 (МПа) – кровля;

R_{c3} = 30·0,9·1 ≈ 27 (МПа) – кровля, бока;

R_{c4} = 44·0,9·1 ≈ 40 (МПа) – бока, почва;

R_{c5} = 40·0,9·1 ≈ 36 (МПа) – почва;

R_{c6} = 57·0,9·1 ≈ 51 (МПа) – почва.

Из представленной на рис. 22 геологической колонки и значений расчетного сопротивления R_c пород каждого слоя видно, что в кровле, боках и почве R_c отличается более чем на 30%, поэтому в соответствии с п. 3.7 по формуле (3) определяем усредненные значения сопротивления пород R_c отдельно:

$$\text{кровли, } R_c = \frac{38\cdot3,0+36\cdot4,5+27\cdot3,0}{3,0+4,5+3,0} = 33,5 \text{ (МПа)};$$

$$\text{боков, } R_c = \frac{27\cdot2,0+40\cdot1,8}{2,0+1,8} = 33 \text{ (МПа)};$$

$$\text{почвы, } R_c = \frac{40\cdot0,8+36\cdot1,5+51\cdot4,7}{0,8+1,5+4,7} = 46 \text{ (МПа)}.$$

2. Согласно п. 3.6 пролет сопряжения в проходке принимаем равным $b = \sqrt{6,2^2 + 0,5\cdot4,6^2}$ = 7,0 м, а высоту – равной 3,8 м.

Максимальная ширина сопряжения в проходке определяется согласно прил. 1 по формуле, соответствующей остроугольному ответвлению:

$$B = b_1\cos\theta + b_2 + d = 4,6\cos60^\circ + 6,2 + 1 = 12,3 \text{ (м)},$$

где b_1 – ширина заезда в проходке, м; b_2 – ширина грузовой ветви в проходке, м; d – зона разрушения углов между выработками от взрывных работ (принимаем d = 1 м).

Расстояние от лобовой опоры до линии максимального пролета составит:

$$x = b_1\sin\theta = 4,6\sin60^\circ = 4 \text{ (м)}.$$

Максимальную высоту сопряжения в проходке принимаем равной h = 4,8 м (на 1 м больше высоты грузовой ветви).

3. По прил. 1 определяем протяженность зон взаимного влияния сопрягающихся выработок l_1, l_2 и l_3 (см. рис. 22), в породах с минимальной прочностью R_c = 33 МПа.

Для этого сначала необходимо определить допустимое расстояние $l_д$ между выработками, исключающее их взаимное влияние. При этом расчет $l_д$ ведем для варианта расположения выработок под углом к простиранию как более неблагоприятного, чем вкрест простирания и крепления их жестким видом крепи:

$$l_д = (6{,}2 + 4{,}6)3{,}5^* \approx 38 \text{ (м)}.$$

Тогда $l_1 = l_2 = 38/(2\sin 30°) = 38$ (м); $l_3 = 38/(2\sin 60°) = 21$ (м) (см. рис. 22).

Максимальное значение коэффициента влияния $K_{в1}$ на сопряжении вида «остроугольное ответвление» составляет 1,4, а на расстояниях от сопряжения, равных l_1, l_2 и l_3 (см. рис. 22), коэффициент будет иметь минимальные значения ($K_{в1}$ = 1).

4. По формуле (5) с учетом входящих в нее коэффициентов и типовых смещений $U_т$ рассчитывают смещения пород со стороны кровли, почвы и боков сопряжения и сопрягающихся выработок.

По R_c и H из графика (см. рис. 4) следует, что типовые смещения $U_т$ для кровли, боков и почвы соответственно равны 400, 390 и 210 мм.

Для кровли, почвы и боков сопряжения и грузовой ветви $K_α$ = 0,7 (см. табл. 7), для заезда $K_α$ = 0,85. Для боков сопряжения в грузовой ветви $K_θ$ = 0,55, для заезда $K_θ$ = 0,45 (см. табл. 7). Для кровли и почвы $K_θ$ = 1.

Значения коэффициента $K_ш$, рассчитываемые по формулам (6)–(7), составляют:

для кровли (почвы) $K_ш = 0{,}25(7 - 1) = 1{,}5$;

для боков $K_ш = 0{,}25(3{,}8 - 1) = 0{,}7$.

K_t = 1 (см. рис. 5) – при $H/R_c = 800/33 = 24$ для срока службы t = 15 лет.

Тогда смещения пород на сопряжении составят:

в кровле $U = 0{,}7 \cdot 1 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 400 = 590$ (мм);

боках $U = 0{,}7 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}7 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 390 = 155$ (мм);

почве $U = 0{,}7 \cdot 1 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 210 = 310$ (мм).

5. По табл. 13 (п. 5.3) устанавливается категория интенсивности проявлений горного давления.

На сопряжении с максимальными смещениями со стороны кровли 590 мм имеет место III категория интенсивности.

6. Выбор типа крепи осуществляют согласно пп. 6.1–6.6. В соответствии с категорией интенсивности для крепления сопряжения целесообразно принять монолитную металлобетонную крепь с жесткой арматурой из двутаврового профиля с обратным сводом. При этом металлические рамы устанавливают у забоя, а затем с отставанием на 1 мес. производят их бетонирование.

7. Нормативную нагрузку определяют согласно пп. 7.1–7.2. Предварительно определяют по формуле (28) смещения, происходящие до бетонирования, U_t.

При $H/R_c = 800/33 \approx 24$, t = 1 мес. для кровли и боков K_t = 0,3 (см. рис. 15);

при $H/R_c = 800/46 \approx 17{,}4$ и t = 1 мес. для почвы K_t = 0,40.

---

* Значение K_L = 3,5 принимаем как среднее между значениями по простиранию и вкрест простирания.

Тогда $U_t = 590 \cdot 0{,}3 \approx 175$ (мм) – кровля;

$U_t = 310 \cdot 0{,}40 \approx 120$ (мм) – почва;

$U_t = 155 \cdot 0{,}3 \approx 45$ (мм) – бока.

Принимаем толщину слоя забутовки в кровле (почве) сопряжения и сопрягающихся выработок $\delta = 200$ мм, в боках $\delta = 100$ мм.

Тогда смещения за счет сжатия слоя забутовки на 25 % составят:

в кровле (почве) $U_з = (200 \cdot 25)/100 = 50$ (мм);

в боках $U_з = (100 \cdot 25)/100 = 25$ (мм).

Далее на графике (см. рис. 14) по оси абсцисс откладывают расчетное смещение пород кровли на сопряжении, равное 590 мм. По этой же оси откладывают смещение $U_t + \Delta + U_з = 175 + 60 + 50 = 285$ мм, восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линией, соответствующей 590 мм. Ордината точки пересечения определит нормативную нагрузку на крепь со стороны кровли $P^н = 0{,}62$ МПа.

Аналогично определяют $P^н$ со стороны почвы – $P^н = 0{,}34$ МПа, со стороны боков $P^н = 0{,}12$ МПа.

По формуле (27) определяют расчетные нагрузки на крепь узла сопряжения (п. 7.2):

для кровли $P = 1{,}05 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 0{,}62 = 0{,}68$ (МПа);

боков $P = 1{,}05 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 0{,}12 = 0{,}13$ (МПа);

почвы $P = 1{,}05 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 0{,}34 = 0{,}37$ (МПа).

8. По графику (см. рис. 17) по максимальной нагрузке (со стороны кровли) определяют плотность установки двутавровых рам металлобетонной крепи при толщине бетона 300 мм. При $P = 0{,}68$ МПа и профиле двутавра № 20 необходимо устанавливать 2,2 рамы/м.

9 Определим тип и параметры крепи в грузовой ветви и в заезде на участках взаимовлияния сопрягающихся выработок l_1, l_2, l_3 (см. рис. 22).

Согласно прил. 1 на участках $l_3 = 20$ м и $l_2 = 20$ м грузовой ветви и $l_1 = 20$ м заезда принимается та же крепь и с теми же параметрами, что и для узла сопряжения, т. е. замкнутая металлобетонная крепь из двутавра № 20 с плотностью установки 2,2 рамы/м, замоноличенные в бетоне.

На остальном протяжении участков l_1, l_2, l_3 до конца зоны влияния сопрягающихся выработок тип и параметры крепи определим из расчета ожидаемых здесь смещений пород и действующих при этом нагрузок. Согласно прил. 1 в расчеты берутся средние величины на этих участках коэффициентов $K_в$ и фактическая ширина сопрягающихся выработок в проходке.

Тогда смещения пород составят:

а) в грузовой ветви

в кровле $U = 0{,}7 \cdot 1 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 400 = 400$ мм;

в боках $U = 0{,}7 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}7 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 390 = 115$ мм;

в почве $U = 0{,}7 \cdot 1 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 210 = 210$ мм;

б) в заезде

в кровле $U = 0{,}85 \cdot 1 \cdot 0{,}72 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 400 = 270$ мм;

в боках $U = 0{,}85 \cdot 0{,}45 \cdot 0{,}44 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 390 = 75$ мм;

в почве $U = 0{,}85 \cdot 1 \cdot 0{,}72 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 210 = 145$ мм.

Параметры крепи рассчитываем по величине смещений кровли в грузовой ветви $U = 400$ мм, в заезде $U = 270$ мм.

В грузовой ветви величина смещений до установки постоянной крепи составит:

$$U_t = 400 \cdot 0{,}3 = 120 \text{ мм},$$

$$\text{тогда } U_t + \Delta + U_з = 120 + 60 + 50 = 230 \text{ мм}.$$

По графику (см. рис. 14) определяем $P^н$ = 0,58 МПа; расчетная нагрузка на крепь составит:

$$P = 1{,}05 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 0{,}58 = 0{,}66 \text{ МПа}.$$

При такой нагрузке и профиле двутавра № 20 плотность установки рам составит $n = 2{,}0$ рамы/м (см. рис. 17).

На этом участке крепь принимаем без обратного свода, так как величина смещения почвы здесь составляет 210 мм. В заезде величина смещений до установки постоянной крепи составит:

$$U_t = 270 \cdot 0{,}3 \approx 80 \text{ мм};$$

$$U_t + \Delta + U_з = 80 + 40 + 50 = 170 \text{ мм};$$

$$P^н = 0{,}40 \text{ МПа}, \; P = 1{,}05 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 0{,}40 = 0{,}46 \text{ МПа}.$$

Принимаем незамкнутую металлобетонную крепь, двутавр № 20, плотность $n = 1{,}2$ рамы/м.

10. В результате расчетов проявлений горного давления принимаем решение:

1) узел сопряжения (участок l_c) и участки грузовой ветви l_3 и l_2 и заезда l_1, примыкающие с обеих сторон к сопряжению, протяженностью 20 м каждый, закрепить замкнутой (с обратным сводом) металлобетонной крепью из рам двутаврового профиля № 20 в бетоне с плотностью установки рам 2,2 рамы/м с тампонажем закрепного пространства;

2) участок грузовой ветви, начиная от середины участка l_2 и до конца зоны влияния, закрепить незамкнутой (без обратного свода) крепью из рам двутаврового профиля № 20 в бетоне с плотностью установки 2,0 рамы/м с тампонажем закрепного пространства;

3) на участке заезда, начиная от середины участка l_1 и до конца зоны влияния, применить незамкнутую крепь из двутавра № 20 с плотностью установки 1,2 рамы/м с тампонажем закрепного пространства.

2. Выбор типа и расчет параметров крепи сопряжения горизонтальных подготавливающих выработок

У с л о в и я. Глубина расположения сопряжения от поверхности $H = 800$ м (глубина принята условно), ширина и высота основной и примыкающей выработок в проходке соответственно равны $b = 3{,}55$ и $h = 2{,}88$ м. Основная выработка пройдена вкрест простирания, угол примыкания сопрягающихся выработок $\theta = 35°$. Угол падения пород $\alpha = 10°$. Сопряжение находится вне зоны влияния очистных работ и других выработок, но со временем будет подвержено воздействию очистных работ. По заключению специализированной организации коэффициент, характеризующий увеличение смещений пород от влияния очистных работ на сопряжении, может составить $K_o = 2{,}0$. Выработки сухие. Тектонические нарушения отсутствуют. Срок службы сопряжения $t = 10$ лет. Тип вмещающих пород и прочность на сжатие в образце показаны на рис. 23.

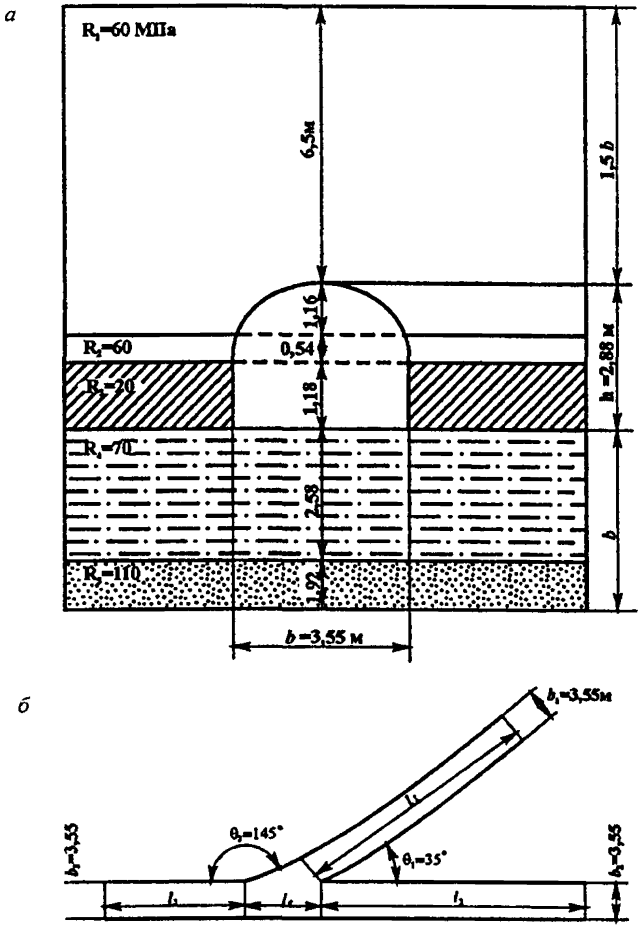


Рис. 23. Схема к примеру 3:

а – вертикальный разрез, *б* – схема сопряжения

Р е ш е н и е. 1. Определяем расчетное сопротивление пород сжатию. Для всех пород принимаем $K_c = 0{,}9$, $K_{в1} = 1$ (п. 3.7). Тогда расчетная прочность каждого слоя составит:

$$R_{c1} = 60 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 54 \text{ (МПа)} – \text{кровля, бока;}$$

$$R_{c2} = 60 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 54 \text{ (МПа)} – \text{бока;}$$

$$R_{c3} = 20 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 18 \text{ (МПа)} – \text{бока;}$$

$$R_{c4} = 70 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 63 \text{ (МПа)} – \text{почва;}$$

$$R_{c5} = 110 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 99 \text{ (МПа)} – \text{почва.}$$

Значения расчетного сопротивления в кровле, почве и боках выработки различаются более чем на 30 %, поэтому определяем величины расчетного сопротивле-

ния пород R_c отдельно для кровли, боков и почвы (при пролете сопряжения $b = \sqrt{3{,}55^2 + 0{,}5 \cdot 3{,}55^2} = 4{,}5$ м) по формуле (3):

для кровли $R_c = R_{c1} = 54$ МПа;

для боков $R_c = \dfrac{1{,}16 \cdot 54 + 0{,}54 \cdot 54 + 1{,}18 \cdot 18}{1{,}16 + 0{,}54 + 1{,}18} = 39{,}2$ МПа;

для почвы $R_c = \dfrac{2{,}58 \cdot 63 + 1{,}92 \cdot 99}{2{,}58 + 1{,}92} = 78{,}3$ МПа.

2. По формуле (5) с учетом входящих в нее коэффициентов и значения $U_т$ определяем смещения кровли, боков и почвы сопряжения.

По R_c и H определяем типовые смещения по графикам (см. рис. 4): 150 мм – для кровли, 50 мм – для почвы и 280 мм – для боков.

Определяем коэффициенты для сопряжения и основной выработки в соответствии с п. 5.1: $K_\alpha = 0{,}7$, $K_\theta = 1$ (кровля, почва); $K_\theta = 0{,}55$ (бока); $K_ш = 0{,}25\ (4{,}5–1) = 0{,}87$ (для кровли, почвы); $K_ш = 0{,}25(2{,}88–1) = 0{,}25 \cdot 1{,}88 = 0{,}47$ (для боков); $K_в = 1{,}4$; $K'_в = 1$; $K_l = 1$ (при $H/R_c = 800/39{,}2 = 20$, по рис. 5).

Для выработки, примыкающей к основной под углом 35°, коэффициенты K_α и K_θ принимаются как для выработки, пройденной под углом к простиранию (п. 5.1, табл. 7): $K_\alpha = 0{,}85$; $K_\theta = 0{,}45$ (бока).

Расчетные смещения пород на сопряжении составят (без учета влияния очистных работ):

для кровли $U = 0{,}7 \cdot 1 \cdot 0{,}87 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 150 = 128$ мм;

почвы $U = 0{,}7 \cdot 1 \cdot 0{,}87 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 50 = 43$ мм;

боков $U = 0{,}7 \cdot 0{,}55 \cdot 0{,}47 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 280 = 71$ мм.

Поскольку сопряжение со временем попадет в зону влияния очистных работ, определим с учетом этого расчетные смещения пород:

для кровли $U = 128 \cdot 2 = 256$ мм;

почвы $U = 43 \cdot 2 = 86$ мм;

боков $U = 71 \cdot 2 = 142$ мм.

Для дальнейших расчетов принимаем максимальную величину смещения пород со стороны кровли $U = 256$ мм.

3. Крепь на сопряжении выбираем по прил. 4, исходя из ширины выработки: при $b = 4{,}5$ принимаем арочную крепь из СВП-27 с планкой ЗСД с сопротивлением в податливом режиме $N_s = 0{,}25$ МН.

4. Нагрузки на 1 м сопряжения определяем на основании смещений пород кровли по формуле (29):

$$P = P^н K_n K_н K_{пр} b,$$

где $K_n = 1{,}1$ (по п. 7.2) – II категория устойчивости; $K_н = 1{,}0$; $K_{пр} = 1$ (по п. 7.2) – буровзрывной способ проходки; $b = 4{,}5$ м (по условию); $P^н \approx 0{,}08$ МПа (см. рис.14 при $U = 256$ мм и $b = 4{,}5$ м); $P = 0{,}08 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 4{,}5 = 0{,}396$ (МН/м).

5. Плотность крепи выбираем согласно п. 7.3 по формуле (31):

$$n = P/N_s = 0{,}396/0{,}25 = 1{,}5 \text{ рамы/м}.$$

6. Податливость крепи при P = 0,396 МН/м выбираем по п. 7.3 из условия $\Delta + 250 \geq UK_{oc}$ по табл. 16, K_{oc} = 0,82. При U = 256 мм имеем $\Delta + 250 > 256 \cdot 0{,}82 =$ = 210 мм. Следовательно, трехзвенная арочная металлическая податливая крепь КМП-А3 из СВП-27 с податливостью до 300 мм (прил. 4) обеспечит нормальную эксплуатацию рассматриваемого сопряжения.

7. Определим протяженность участков взаимовлияния l_1, l_2, l_3 (см. рис. 23) выработок по прил. 1:

$$l = \frac{l_д}{2\sin\frac{\theta}{2}} \quad \text{и} \quad l_д = (b_1 + b_2)K_L,$$

где $b_1 = b_2$ = 3,55 м (по условию), θ_1 = 35°, θ_2 = 180° – θ_1 = 145°; K_{L1} = 1,8 (по табл. 6, определено по минимальному R_c = 39,2 МПа для выработки, пройденной под углом к простиранию – средняя величина между значениями вкрест и по простиранию); K_{L2} = 1,4 (по табл. 6 для выработки, пройденной вкрест простирания при R_c = 39,2 МПа); $l_{д1} = (3{,}55 + 3{,}55)1{,}8$ = 13 м; $l_{д2} = (3{,}55 + 3{,}55)1{,}4$ = 10 (м).

Тогда протяженность участков взаимовлияния составит: для выработки, сопрягающейся с основной под углом 35°, $l_1 = \frac{13}{2\sin 17{,}5°} = 22$ м; для основной выработки $l_2 = \frac{10}{2\sin 17{,}5°} = 17$ м; для основной выработки $l_3 = \frac{10}{2\sin 72{,}5°} = 5{,}5$ м.

Согласно прил. 1, если зона l превышает 20 м, то тип и параметры крепи в выработках, примыкающих к сопряжению, принимаются дифференцированно в зависимости от изменения коэффициента $K_в$. Однако в данном случае зона l незначительно отличается от указанной, поэтому принимаем параметры крепи на всех участках взаимовлияния одинаковыми.

3. Оценка устойчивости пород и выбор крепи сопряжения бремсберга с монтажным ходком

У с л о в и я. Глубина расположения сопряжения от поверхности H = 500 м (принята условно), m = 0,88 м, падение пологое. Коэффициент крепости пород кровли и почвы сопряжения f = 5, крепость угля f = 1,5. Тип сопряжения – прямоугольное ответвление (угол примыкания θ = 90°). Монтажный ходок пройден вкрест простирания пород, бремсберг – по падению пласта. Сечение бремсберга в свету $S_{св1}$ = 11,2 м^2, монтажный ходок – $S_{св2}$ = 9,2 м^2. Ширина бремсберга и ходка в проходке соответственно составляет b_1 = 4,9 м и b_2 = 4,3 м, а высота h_1 = 3,6 и h_2 = = 3,3 м. Сопряжение расположено вне зоны влияния очистных работ и других выработок. Тектонические нарушения отсутствуют, выработки сухие. Срок службы выработок t = 10 лет.

Р е ш е н и е. На основании исходных данных и в соответствии с пп. 3.3 и 3.7 настоящей Методики принимаем K_c = 0,9; $K_{вл}$ = 1.

1. Определяем расчетное сопротивление пород R_c в кровле, почве и боках. В соответствии с п.3.7 производим пересчет прочности пород в образце по формуле $R = 10f$. Тогда прочность пород кровли и почвы составит $R = 10 \cdot 5$ = 50 МПа, а прочность угля $R = 10 \cdot 1{,}5$ = 15 МПа. Если считать, что породы прочностью в образце R = 50 МПа залегают в кровле на расстоянии не менее чем 1,5b от контура, а в почве –

1*b*, то расчетное сопротивление пород кровли и почвы составит $R_c = 50 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 45$ МПа, а расчетное сопротивление угля $R_c = 15 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 14$ МПа.

При высоте сопряжения $h = 3{,}6$ м определяем расчетное сопротивление пород в боках выработки по формуле (3):

$$R_c = \frac{R_{c1}m_1 + R_{c2}m_2}{m_1 + m_2} = \frac{45 \cdot 2{,}72 + 14 \cdot 0{,}88}{3{,}60} = 37{,}5 \text{ МПа},$$

где $m_2 = 0{,}88$ м – мощность пласта; $m_1 = h - m_2 = 3{,}6 - 0{,}88 = 2{,}72$ м. Расчетная ширина сопряжения $b = 5{,}8$ м (см. п. 3.6).

2. По формуле (5) с учетом входящих в нее коэффициентов и значения $U_т$ рассчитываются смещения пород со стороны кровли, почвы и боков.

Из графика (см. рис. 4) следует, что при $R_c = 45$ МПа и $H = 500$ м типовое смещение пород кровли и почвы $U_т = 80$ мм. Для боков $U_т = 130$ мм (при $R_c = 37{,}5$ МПа и $H = 500$ м).

Бремсберг пройден по падению (восстанию), поэтому коэффициенты определяем применительно к выработке, пройденной по простиранию. Тогда $K_α = 1$, $K_θ = 1$ (кровля, почва), $K_θ = 0{,}35$ (бока), $K_ш = 0{,}25(5{,}8 - 1) = 1{,}2$ (для кровли, почвы), $K_ш = 0{,}25(3{,}6 - 1) = 0{,}65$ (для боков), $K_в = 1{,}4$ (по п. 5.1), $K_l = 1$ (при $H/R_c = 8{,}5$ по рис. 5).

Расчетные смещения пород составят:

для кровли (почвы) $U = 1 \cdot 1 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 80 = 135$ (мм);

боков $U = 1 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}65 \cdot 1{,}4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 130 = 40$ (мм).

Таким образом, расчет показывает, что рассматриваемое сопряжение будет подвержено горному давлению средней интенсивности. Согласно п. 6.4 в породах II категории интенсивности можно применить комбинированную крепь из анкеров, набрызгбетона и металлической сетки.

Расчет анкерной крепи выполняем согласно п. 7.4 для случая применения сталеполимерных анкеров с $N_a = 75$ кН. Смещения пород кровли составят (п. 7.4.1)

$$U_a = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 135 \approx 35 \text{ мм}.$$

При расчетных смещениях кровли до 50 мм сопротивление анкерной крепи P_a и длина анкеров l_a составят (см. табл. 19) при I типе кровли:

$$P_a = 63 \text{ кН/м}^2, \; l_a = 2{,}5 \text{ м}.$$

Параметры анкерной крепи в боках сопряжения определим по степени относительной напряженности пород (п. 7.6):

$$\sigma_б = 1{,}8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}025 \cdot 500/375;$$

$$\sigma_б = 0{,}6 < 1.$$

При условии $\sigma_б < 1$ анкерами крепим только острые углы сопряжения.

По кровле сопряжения принимаем пять анкеров в рядах (п. 7.7). Расстояние между рядами анкеров:

$$C_к = 5 \cdot 75/63 \cdot 5{,}8 = 1 \text{ м},$$

а по условию минимальной плотности установки анкеров (п. 7.8)

$$C_к = 5/0{,}7 \cdot 5{,}8 = 1{,}2 \text{ м}.$$

Принимаем меньшее значение $C_к = 1$ м (п. 7.8). Согласно п. 6.4 толщина набрызгбетона должна быть не менее 50 мм.

4. Расчет параметров крепи сопряжения очистного забоя с конвейерным штреком, погашаемым за забоем одиночной лавы

У с л о в и я. Глубина расположения сопряжения от поверхности H=600 м. Ширина и высота конвейерного штрека в проходке соответственно равны b= 5 м, h = 2,8 м, сечение штрека S = 14 м^2. На рис. 24 сопряжение конвейерного штрека с лавой отмечено позицией 1. Разрабатываемый пласт средней мощности m = 1,7 м, без пликативных и дизъюнктивных нарушений, выдержан по мощности и углу падения, составляющему 4–6°. Предел прочности угля 15 МПа. В непосредственной кровле на высоту до 10 м залегают сухие переслаивающиеся глинистые и песчано-глинистые сланцы средней устойчивости с пределом прочности на сжатие 50 МПа и небольшой экзогенной трещиноватостью. Почва до глубины 8 м представлена аргиллитами с пределом прочности на сжатие 45 МПа. Основная кровля пласта общей мощностью 25 м – песчаники мощностью 10–12 м и пределом прочности 80 МПа, переслаивающиеся с алевролитами мощностью 0,7–1,5 и пределом прочности на сжатие 65 МПа.

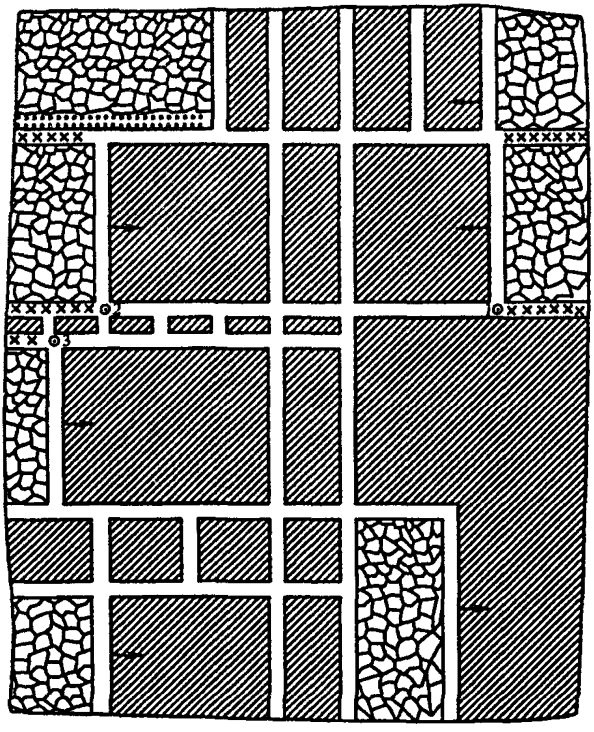


Рис. 24. Варианты сопряжений очистных забоев с выемочными выработками

Р е ш е н и е. 1. При установленных характеристиках пород непосредственной и основной кровли, кровлю сопряжения следует отнести к I типу и классу средней устойчивости (п. 3.4). Согласно п. 6.6 принимается решение для указанных условий

с применением здесь анкерной крепи и прямоугольной формы поперечного сечения выработки. Намечается использовать сталеполимерные анкеры со стержнями из Ст. 3 диаметром 20 мм и стандартной резьбой М20, закрепляемые в скважине по всей длине. Тогда согласно нормативному документу [6] $N_а$ = 75,0 кН. В боках сопряжения используются стеклопластиковые клинораспорные анкеры с $N_а$ = 30 кН.

2. Определяем расчетное сопротивление пород в кровле, боках и почве сопряжения. Для указанных условий $K_с$ = 0,9; $K_{зл}$ = 1:

в кровле $R_с = 50 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 45$ МПа;

в боках $R_с = \dfrac{(50 \cdot 1{,}1 + 15 \cdot 1{,}7) 0{,}9 \cdot 1}{1{,}1 + 1{,}7} = 26$ МПа;

в почве $R_с = 45 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 40$ МПа.

Среднее значение (п. 3.8) $R_{с\,ср} = \dfrac{(50 \cdot 7{,}5 + 50 \cdot 1{,}1 + 15 \cdot 1{,}7 + 45 \cdot 5) 0{,}9 \cdot 1}{7{,}5 + 1{,}1 + 1{,}7 + 5} = 40$ МПа.

3. Определяем расчетные смещения пород (п. 5.2, табл. 9) для участков сопряжения 10 м впереди очистного забоя и в створе с лавой по формуле (11):

$$U_{кр} = U_о + U_1 K_{кр} K_з K_к,$$

где $U_о$ определяем согласно п. 5.1 (при H = 600 м; $R_с$ = 45 МПа):

$$U_о = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 125 = 125 \text{ мм};$$

$K_{кр}$ = 0,8; $K_з$ = 1,2 (табл.10); $K_к$ = 0,48; U_1 = 530 мм (при H = 600 м; $R_{с\,ср}$ = 40 МПа).

Тогда $U_{кр}$ = 125 + 530·0,8·1,2·0,48 = 370 мм – на участке 10 м впереди очистного забоя; $U_{кр}$ = 370·1,3 = 480 мм – в створе с лавой.

Согласно п. 6.8 делаем проверку на необходимость корректировки расчетных смещений от влияния вторичных осадок основной кровли.

$$K_т = \left[\frac{75 \cdot 25 \cdot 1{,}7}{15 \cdot 16 \cdot (1+10)}\right]^{0{,}25} = 0{,}26.$$

При $K_т$ = 0,26 < 1,0 корректировку расчетных смещений не производим.

4. Определяем параметры анкерной крепи для участков сопряжения конвейерного штрека с очистным забоем одиночной лавы по п. 7.4.

Смещения пород кровли определим по формуле (35):

$$U_а = 0{,}5 K_а U_{кр}.$$

Принимаем для всех участков сопряжения анкерную крепь с параметрами, рассчитываемыми для участка сопряжения 10 м впереди очистного забоя. На участке сопряжения в створе с лавой анкерную крепь предусматривается усилить стойками. Тогда смещение пород кровли на участке сопряжения 10 м впереди очистного забоя составит:

$$U_а = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 370 = 93 \text{ мм}.$$

Согласно п. 5.3 сопряжение поддерживается в условиях горного давления средней интенсивности. При этих смещениях требуемое сопротивление анкерной крепи в кровле составит (п. 7.4.3) $P_а$ = 60 кН/м^2, а длина анкеров $l_а$ = 2,2 м. Количество анкеров в рядах согласно п. 7.7 принимаем равным n = 5, а расстояние между рядами определяем по формуле (42):

$$C_к = 5 \cdot 75/60 \cdot 5 = 1{,}2 \text{ м}.$$

С учетом п. 7.8 производим сравнение расчетного шага установки анкеров по условию интенсивности горного давления с требуемым по условию минимальной плотности:

$$C_к = 5/0{,}7 \cdot 5 = 1{,}4 \text{ м}.$$

Принимаем окончательно минимальное значение $C_к = 1{,}2$ м. Совместно с анкерами для поддержания сопряжения в рассматриваемых условиях рекомендуется применить комбинированную подхват-затяжку, приведенную в нормативе [6].

Параметры анкерной крепи в боках сопряжения определим по п. 7.6. По формуле (39) определяем для указанных условий:

$$\sigma_б = 3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}025 \cdot 600/26 = 1{,}7.$$

При $\sigma_б = 1{,}7 > 1{,}0$ параметры анкерной крепи определяем по номограмме (см. рис. 20). В этом случае $P_{а.б} = 24$ кН/м^2, $l_{а.б} = 1{,}8$ м. Для крепления боков принимаем стеклопластиковые клинораспорные анкеры с несущей способностью $N_{а.б} = 30$ кН, которые не будут создавать помех работе добычного комбайна в лаве.

Количество анкеров в рядах принимаем $n_б = 3$, а расстояние между рядами определяем по формуле (43) п. 7.7:

$$C_б = 3 \cdot 30/24 \cdot 2{,}8 \approx 1{,}3 \text{ м}.$$

Проверка расчетного шага установки анкеров по условию минимальной плотности (п. 7.8) показала, что по этому фактору расстояние между рядами анкеров в боках получается больше, чем по условию интенсивности горного давления. В этой связи окончательно принимаем $C_б = 1{,}2$ м, т. е. таким же, как расстояние между рядами анкеров, устанавливаемых по кровле сопряжения, поскольку полученные величины близки между собой.

Для определения параметров крепи усиления на участке сопряжения штрека в створе с очистным забоем находим по номограмме (см. рис. 19) по ожидаемым смещениям $U_{кр}$ расчетное сопротивление, которое будет воспринимать крепь усиления. Тогда по формуле (35):

$$U_{кр} = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 480 = 120 \text{ мм}.$$

При $U_{кр} = 120$ мм расчетное сопротивление будет равно (см. рис. 19) $P_д = 68$ кН/м^2. Согласно п. 7.5

$$P_{к.у} = 1{,}5 \cdot (68 - 60) = 12 \text{ кН/м}^2.$$

Требуемое количество в рядах усиливающих стоек составит (п. 7.9):

$$n_{у.с} = 1{,}2 \cdot 5 \cdot 12/150 = 0{,}5,$$

при деревянных стойках с $N_s = 150$ кН, т. е. необходимо устанавливать по одной стойке через один ряд анкерной крепи. Стойки устанавливаются между рядами анкеров под жесткий верхняк.

5. Расчет параметров крепи сопряжения очистного забоя с конвейерным штреком при парной подготовке выемочных столбов

У с л о в и я. Горно-геологические условия в данном примере подобны принятым в примере 4, рассмотренном выше ($H = 600$ м, ширина и высота парных выработок в проходке одинаковы и равны соответственно $b = 5$ м, $h = 2{,}8$ м, сечение

штреков 14 м^2, мощность пласта m = 1,7 м, прочность угля 15 МПа, прочность пород непосредственной кровли 50 МПа, основной кровли – 75 МПа, почвы – 45 МПа). Ширина целика между парными выработками 5,0 м.

Сопряжение конвейерного штрека с лавой на рис. 24 отмечено позицией *2*. Конвейерный штрек погашается за лавой, а другая парная выработка сохраняется в качестве вентиляционной для работы смежной лавы и погашается за ней.

Р е ш е н и е. 1. Как отмечено выше в примере 4, кровля сопряжения отнесена к I типу, непосредственная кровля средней устойчивости. В качестве основной крепи здесь также намечается использовать (п. 6.6) по кровле сталеполимерные анкеры, закрепляемые в скважинах по всей длине ($N_а$ = 75 кН), а в боках сопряжения – стеклопластиковые полимерные анкеры ($N_а$ = 65 кН).

2. Расчетные сопротивления пород в кровле, боках и почве сопряжения соответственно равны 45; 26; 40 МПа, а их среднее значение – 40 МПа (см. п. 2 примера 4).

3. Определяем расчетные смещения пород (п. 5.2, табл. 9) для участков сопряжения 10 м впереди очистного забоя и в створе с лавой по формуле (21):

$$U_{кр} = U_о + 1{,}1\, U_1 k_{кр} k_s k_к,$$

где $U_о$ определяем согласно 5.1 (при H = 600 м, $R_с$ = 45 МПа):

$$U_о = k_а k_\theta k_ш k_в k_l U_т,$$

$k_а = 1$, $k_\theta = 1$, $k_ш = 1$, $k_l = 1$, $k_в = 1 + (1 - l_ц/15) = 1 + (1 - 5/15) = 1{,}67$, $U_т$ = 125 мм.

$$U_о = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}67 \cdot 1 \cdot 125 = 209 \text{ мм};$$

$k_{кр}$ = 0,8, k_s = 1,2 (см. табл. 10), $k_к$ = 0,48, U_1 =530 мм (при H = 600 м, $R_{с\,ср}$ = 40 МПа).

Тогда смещения пород кровли на участке сопряжения 10 м впереди лавы составят:

$$U_{кр} = 209 + 1{,}1 \cdot 530 \cdot 0{,}8 \cdot 12 \cdot 0{,}48 = 478 \text{ мм},$$

а в створе с лавой $U_{кр} = 478 \cdot 1{,}3 = 620$ мм.

Корректировка расчетных смещений от влияния вторичных осадок основной кровли согласно п. 6.8 при $k_т$ = 0,26 < 1,0 (см. пример 3) не производится.

4. Определяем параметры анкерной крепи для участков сопряжения по п. 7.4. Принимаем для всех участков сопряжения анкерную крепь с параметрами, рассчитываемыми для участка сопряжения 10 м впереди очистного забоя. На участке сопряжения в створе с лавой анкерная крепь будет усилена стойками.

По формуле (35) определяем смещения пород кровли, закрепленной анкерами:

$$U_а = 0{,}5 k_а U_{кр}.$$

На участке сопряжения 10 м впереди очистного забоя

$$U_а = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 530 = 133 \text{ мм},$$

а на участке сопряжения в створе с лавой

$$U_а = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 620 = 155 \text{ мм}.$$

Согласно п. 5.3 сопряжение поддерживается в условиях горного давления средней интенсивности. Параметры анкерной крепи в соответствии с $U_а$ = 133 мм составят (п. 7.4.3):

$$P_а = 66 \text{ кН/м}^2;\ l_а = 2{,}3 \text{ м}.$$

Количество анкеров в рядах согласно п. 7.7 принимаем равным $n = 5$, а расстояние между рядами определяем по формуле (42):

$$C_к = 5 \cdot 75/66 \cdot 5 = 1{,}1 \text{ м}.$$

При сравнении расчетного шага установки анкеров $C_к = 1{,}1$ м, согласно п. 7.8, с требуемым по условию минимальной плотности, где $C_к = 5/0{,}7 \cdot 5 = 1{,}4$ м, окончательно принимаем минимальное значение:

$$C_к = 1{,}1 \text{ м}.$$

Совместно с анкерами для поддержания сопряжения в эксплуатационном состоянии рекомендуется применить комбинированную подхват-затяжку, приведенную в нормативе [6].

Параметры анкерной крепи в боках сопряжения – по п. 7.6 для указанных условий поддержания с угольным целиком шириной 2,5...3m. В этом случае стеклопластиковые анкеры закрепляются полимерным составом по всей длине скважин, а их длина должна быть $l_а = 2{,}5$ м, сопротивление – 60 кН/м^2 и податливость 70 мм. Количество анкеров в рядах принимаем (п. 7.7) $n_б = 3$, расстояние между рядами определяем по формуле (43):

$$C_б = 3 \cdot 65/60 \cdot 2{,}8 = 1{,}1 \text{ м}.$$

Параметры крепи усиления на участке сопряжения штрека в створе с очистным забоем находим согласно п. 7.5. По номограмме (см. рис. 19) определяем расчетное сопротивление при $U_а = 155$ мм, $P_а = 74$ кН/м^2, тогда $P_{к.у} = 1{,}5\,(74 - 66) = 12$ кН/м^2.

При использовании деревянных стоек ($N_s = 150$ кН) необходимое их количество составит (п. 7.9):

$$n_{у.с} = 1{,}1\ 5 \cdot 1{,}2/150 \approx 0{,}5.$$

Таким образом, стойки следует устанавливать между рядами анкеров под жесткий верхняк через один ряд анкерной крепи по одной стойке.

6. Определение параметров крепи сопряжения очистного забоя с вентиляционной выработкой, охраняемой податливым целиком шириной 2,5–3 мощности пласта и погашаемой за второй лавой

У с л о в и я. Глубина расположения сопряжения от поверхности $H = 600$ м. Выемочный столб подготовлен спаренными выработками с шириной целика между ними 5 м. Ширина и высота выработок в проходке $b_1 = b_2 = 5$ м и $h_1 = h_2 = 2{,}8$ м. Конвейерный штрек погашен при отработке первой лавы, а вентиляционный охраняется податливым целиком и погашается за второй лавой через 0,5 года. Сопряжение вентиляционного штрека со второй лавой отмечено на рис. 24 позицией *3*. Пласт мощностью $m = 1{,}7$ м без нарушений, выдержан по мощности и углу падения, составляющему 4–6°. Прочность угля 15 МПа. В непосредственной кровле на высоту до 10 м залегают сухие песчано-глинистые сланцы средней устойчивости, прочностью на сжатие 50 МПа. Основная кровля представлена песчаником мощностью 10 м и прочностью 75 МПа. В почве до глубины 8 м залегают алевролиты прочностью на сжатие 45 МПа.

Р е ш е н и е. 1. Кровлю сопряжения согласно п. 3.4 следует отнести к I типу (см. табл. 3) и классу средней устойчивости (см. табл. 4). Для указанных условий в качестве основной крепи используем анкерную сталеполимерную крепь с закрепле-

нием стержней химическим составом по всей длине скважин ($N_а$ = 75 кН). В боках сопряжения устанавливаются стеклопластиковые полимерные анкеры ($N_а$ = 60 кН). Сопряжение прямоугольной формы S = 14 м^2.

2. Расчетные сопротивления пород в кровле, боках и почве сопряжения при $k_с$ = 0,9 и $k_{вл}$ = 1 будут равны (пп. 3.3 и 3.7):

в кровле $R_с = 50 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 45$ МПа;

в боках $R_с = \frac{50 \cdot 1{,}1 + 15 \cdot 1{,}7}{1{,}1 + 1{,}7} \cdot 0{,}9 \cdot 1 \approx 26$ МПа;

в почве $R_с = 45 \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 40$ МПа.

Среднее значение (п. 3.8):

$$R_{с\,ср} = \frac{50 \cdot 7{,}5 + 50 \cdot 1{,}1 + 15 \cdot 1{,}7 + 45 \cdot 5}{7{,}5 + 1{,}1 + 1{,}7 + 5} \cdot 0{,}9 \cdot 1 = 40 \text{ МПа}.$$

3. Определяем расчетные смещения пород для участков сопряжения 10 м впереди очистного забоя и в створе с лавой (п. 5.2, табл. 9) по формуле (20):

$$U_{кр} = U_о + (2U_1 k_к + 0{,}05 m k_{l1}) k_{кр} k_з,$$

где $U_о$ определяем согласно п. 5.1 при $k_в = 1 + (1 - l_ц/15) = 1{,}67$.

$$U_о = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}67 \cdot 1 \cdot 125 = 209 \text{ мм},$$

$k_{кр}$ = 0,8; $k_з$ = 1,2 (см. табл. 10); $k_к$ = 0,48; U_1 = 530 мм (см. рис. 6), k_{l1} = 0,6 (табл.11).

Тогда смещения пород кровли на участке сопряжения 10 м впереди лавы составит:

$$U_{кр} = 209 + (2 \cdot 530 \cdot 0{,}48 + 0{,}05 \cdot 1700 \cdot 0{,}6) \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}2 = 746 \text{ мм},$$

а в створе с лавой:

$$U_{кр} = 746 \cdot 1{,}2 = 895 \text{ мм}.$$

Согласно п. 6.8 $k_т$ = 0,26 < 1,0. В этом случае корректировка расчетных смещений от влияния вторичных осадок основной кровли не производится.

4. Определяем параметры анкерной крепи для участков сопряжения по п.7.4.

Для всех участков сопряжения принимаем анкерную крепь с параметрами, рассчитываемыми для участка сопряжения 10 м впереди очистного забоя. На участке сопряжения в створе с лавой анкерная крепь будет усилена стойками.

Смещение пород кровли, закрепленной анкерами, определим по формуле (35):

$$U_а = 0{,}5 k_а U_{кр}.$$

На участке сопряжения 10 м впереди очистного забоя:

$$U_а = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 746 = 187 \text{ мм},$$

а на участке сопряжения в створе с лавой:

$$U_а = 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 895 = 224 \text{ мм}.$$

Параметры анкерной крепи при $U_а$ = 187 мм составят (п. 7.4.3):

$$P_а = 78 \text{ кН/м}^2, \; l_а = 2{,}5 \text{ м}.$$

Количество анкеров в рядах согласно п. 7.7 принимаем равным n = 5, а расстояние между рядами определяем по формуле (42):

$$C_к = 5 \cdot 75/78 \cdot 5 = 0{,}9 \text{ м}.$$

Полученное значение $C_к = 0{,}9$ является наименьшим в сравнении с расчетным шагом по условию минимальной плотности, где $C_к = 5/0{,}7 \cdot 5 = 1{,}4$ м. Поэтому окончательно принимаем расстояние между рядами анкеров $C_к = 0{,}9$ м.

Анкеры устанавливаются совместно с комбинированной подхват-затяжкой, приведенной в нормативе [6].

Параметры анкерной крепи в боках сопряжения при угольных целиках шириной 2,5–3m согласно п. 7.6 должны быть равны: длина анкеров – 2,5 м, сопротивление крепи – 60 кН/м^2, податливость анкеров – 70 мм.

Количество анкеров в рядах $n_б = 3$ (п. 7.7), а расстояние между рядами определяем по формуле (43):

$$C_б = 3 \cdot 60/60 \cdot 2{,}8 = 1{,}0 \text{ м}.$$

Параметры крепи усиления на участке сопряжения штрека в створе с очистным забоем находим согласно п. 7.5. По номограмме (см. рис. 19) определяем расчетное сопротивление при $U_а = 224$ мм, которое составляет $P_а = 85$ кН/м^2.

Тогда $P_{к\,у} = 1{,}5(86 - 78) = 12$ кН/м^2.

При использовании деревянных стоек в качестве крепи усиления их количество составит (п. 7.9):

$$n_{у\,с} = 0{,}9 \cdot 5 \cdot 12/150 = 0{,}4.$$

Стойки устанавливаем между рядами анкеров под жесткий верхняк через один ряд анкерной крепи с небольшим запасом по одной стойке.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КРЕПЛЕНИЮ СОПРЯЖЕНИЙ С БОЛЬШИМ ПРОЛЕТОМ

При креплении сопряжений с большим пролетом и примыкающих к сопряжению выработок используют приемы, сущность которых заключается в установке на сопряжении металлических рам увеличенных размеров. Эти рамы имеют переменную длину и могут состоять из трех–шести звеньев, соединенных замками. С увеличением пролета сопряжения увеличивается и плотность установки крепи. В ряде случаев на сопряжении выработок применяют более тяжелый спецпрофиль, а также усиливают арки анкерной крепью. В этом случае на арке крепи укрепляют П-образные хомуты из полосовой стали с отогнутыми под анкеры концами, через которые пробуривают скважины и устанавливают анкеры.

При установке на сопряжениях главных откаточных выработок разрезных четырех-, пяти- и шестизвенных арок встает вопрос обоснования и выбора параметров узлов податливости и элементов крепи. Применение же неразрезных верхних элементов арок затрудняет их перевозку по выработкам и монтаж, так как длина арки может достигать 8 и более метров, а масса – 200–300 кг.

Методика определения несущей способности нестандартных арок изложена в разд. 7 (см. п. 7.3) настоящей Методики. Крепь сопряжения двух откаточных выработок, закрепленных металлической податливой крепью, которую комплектуют из стандартных боковых стоек обычной арочной крепи, представлена на рис. 25. На самом широком участке сопряжения крепь состоит из пяти звеньев: двух боковых стоек крепи, двух развернутых боковых стоек и плоской вставки. В более узких частях сопряжения соответственно уменьшаются и длины обрезаемых частей верхних боковых стоек. Пятизвенные арки усиливают продольными подхватами из швеллера в комбинации с анкерами длиной 2 м. Это обеспечивает устойчивость арок крепи сопряжения и компенсирует увеличение нагрузки на крепь в самой широкой части выработки.

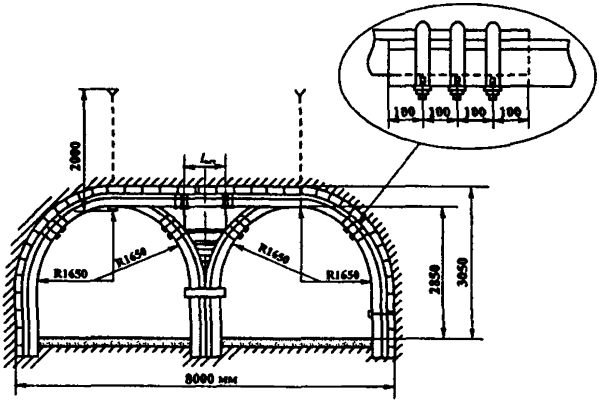


Рис. 25. Крепление сопряжения двух откаточных выработок с плоской формой перекрытия, комплектуемой из боковых стоек арочной крепи и прямолинейных вставок

Главными элементами крепи сопряжений при использовании рамных крепей являются камерные рамы и опорные балки. Конструктивно крепь на узлах сопряжений состоит из неполных крепежных рам (полуарок) и камерных рам. Например, схема крепления сопряжения металлическими камерными рамами *1* и полурамами (полуарками) *2* с бетонированием острых и тупых углов, образуемых сопрягающимися выработками, показана на рис. 26, *а*.

Аналогичное сопряжение, закрепленное арками и полуарками, установленными на балку *1*, опирающуюся на бетонные опоры ("утюги" и "быки") *2*, представлено на рис. 26, *б*. Этот вид крепи сопряжения применяется при больших пролетах.

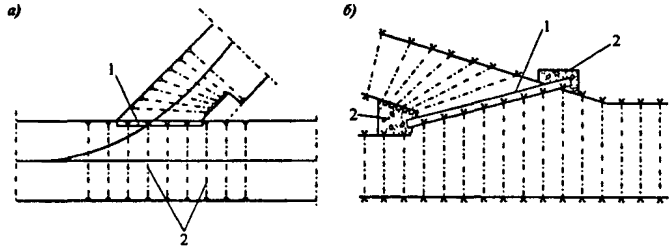


Рис. 26. Крепь сопряжения выработок с металлической арочной крепью:

а – с камерной рамой, *б* – с опорными балками

Соединение металлических стоек камерных рам с балкой осуществляется с помощью различных фланцев и полок, привариваемых к балке и стойкам посредством болтового крепления, а также хомутов, изготавливаемых из толстых прутов диаметром не менее 20 мм (рис. 27, *б* и *в*).Фиксация полуарок металлической крепи, опирающихся на балки, производится путем установки концов полуарок в специальные пазы или в швеллер (рис. 27, *а*).

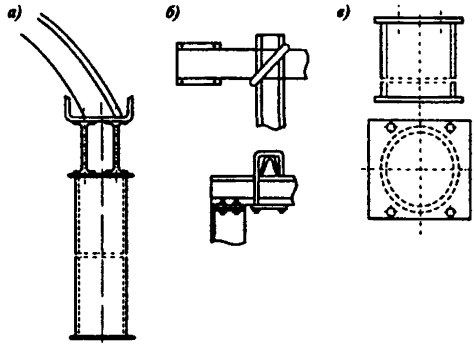


Рис. 27. Узлы соединения балок со стойками:

а – верхняка арочной крепи с камерной балкой; *б* – верхняка трапециевидной крепи и стойки с камерной балкой, *в* – конструкция узла соединения на стойке

Камерные балки работают в неблагоприятных условиях, особенно при опирании на них неполных арок металлической арочной крепи. В этом случае на балки,

кроме вертикальных сил, действуют и косонаправленные нагрузки, которые могут привести к скручиванию балок.

Для предотвращения скручивания и снижения нагрузки со стороны кровли камерные балки следует, во-первых, разворачивать вокруг продольной оси в сторону неполных арок на некоторый угол φ, кроме того, необходимо применять составные камерные балки из двух–трех профилей, уменьшать пролет сопряжения, производить опирание верхняков крепи на камерные балки только со стороны основной выработки (см. рис. 26, *а*).

Для обеспечения устойчивости сопряжений и сопрягающихся выработок большого сечения перспективными являются комбинированные крепи, представляющие собой сочетание анкерной с поддерживающей или набрызгбетоном.

При пролетах сопряжений более 6 м целесообразно использовать одну из возможных конструкций комбинированной крепи БМ-3 [9].

Анкерная крепь устанавливается с опорными плитками размером 150×150×10 мм или с прогонами (рис. 28). Прогоны ориентированы параллельно оси выработки. Они могут быть изготовлены из легкого спецпрофиля, швеллера или полосового железа. Прогоны укрепляют на анкерах, которые устанавливают под разными углами относительно нормали в местах крепления прогона. В качестве затяжки может использоваться стандартная вязаная или сварная сетка с ячейками 100×100 мм из проволоки диаметром 4–5 мм. Сетку покрывают набрызгбетоном толщиной 50 мм.

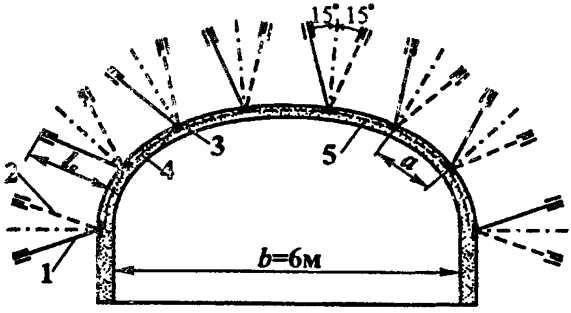


Рис. 28. Комбинированная крепь БМ-3:

1 – анкеры первого ряда; *2* – анкеры второго ряда, *3* – прогон; *4* – набрызгбетонное покрытие; *5* – металлическая сетка

Могут применяться анкеры различного типа по конструкции и степени податливости (замковые и беззамковые, податливые и жесткие). Обычно в таких выработках длина анкеров принята от 1,5 до 3,0 м, а их несущая способность – не менее 0,06 МН. Анкеры устанавливают по сетке 1,0×1,0 м.

При пролетах выработок более 8–10 м, когда глубина зоны разрушенных пород в кровле увеличивается, наиболее эффективной является технология крепления сопряжений с применением кустов предварительно напряженных анкеров (ПНА), закрепляемых по всей длине вяжущим составом [10]. На рис. 29 показана крепь ПНА, усиливающая комбинированную крепь из анкеров первой стадии с металлической сеткой или опорными плитками и набрызгбетоном.

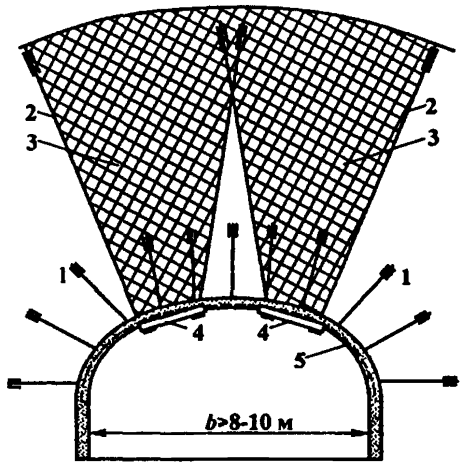


Рис. 29. Усиление комбинированной крепи первой стадии кустами анкеров повышенной несущей способности (ПНА):

1 – анкеры крепи первой стадии с металлической сеткой или опорными плитками; *2* – анкеры крепи ПНА, *3* – напряженные столбы пород, оконтуренные анкерами ПНА; *4* – подхваты (стяжки), *5* – набрызгбетонная крепь с металлической сеткой

Анкеры ПНА устанавливают с оконтуриванием в кровле выработки кустами анкеров породных столбов, концы которых расположены выше ожидаемой зоны разрушения пород. Для образования каждого породного столба бурят обычно куст из четырех расходящихся под заданным углом скважин. В них устанавливают цельные или составные анкеры с несущей способностью, необходимой для удержания всех попадающих в зону обрушения пород. Анкеры у основания соединяют жесткими подхватами с предварительным натяжением и заполняют скважины с анкерами вяжущим составом. Образованные кустами ПНА породные несущие столбы разделяют пролет сопряжения на части, устойчивость которых обеспечивают анкеры первой стадии – с меньшей глубиной анкерования. Параметры комбинированной крепи рассчитывают согласно пп.7.4–7.9 настоящей Методики.

Кусты ПНА целесообразно возводить в центральной части сопряжения при его проходке, а затем расширять выработку до проектных размеров и крепить её анкерами первой стадии с последующей установкой сварной металлической решетки и нанесением набрызгбетона.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАМНЫХ ПОДАТЛИВЫХ КРЕПЕЙ

1. Параметры металлических податливых крепей

Сечение выработки в свету до осадки, м^2	Ширина выработки в свету до осадки, м	Тип спецпрофиля	Сопротивление крепи, МН, в податливом режиме в зависимости от вида соединительных узлов*			Конструктивная вертикальная податливость крепи**, мм
			Прямые планки и скобы с резьбой	ЗСД	ЗПК, ОЗШ АП-3Ум	
Арочная КМП-А3						
До 10,0	3,2–3,4	СВП–17	0,15	0,18	0,20	300/360
До 10,0	3,5–3,8	СВП–19	0,16	0,20	0,23	300/360
10,0–13,0	4,0–4,8	СВП–22	0,19	0,22	0,26	300/400
10,0–13,0	4,0–4,8	КГВ–21	–	–	0,26	–
10,0–13,0	4,0–4,8	СВП–27	0,21	0,25	0,29	300/400
13,0–18,0	5,2–5,5	СВП–27	–	0,25	0,29	300/400
Арочная КМП-А3						
13,0–18,0	5,2–5,5	СВП–33	–	0,31	0,32	300/400
18,0–20,0	5,5–6,0	СВП–33	–	0,31	0,32	–/400
Арочная КМП-А4						
10,0–13,0	4,0–4,8	СВП-22	–	–	0,26	–/400
14,0–18,0	5,2–5,5	СВП-27	–	–	0,29	–/400
18,0–20,0	5,5–6,0	СВП-33	–	–	0,32	–/400
Арочная КМП-А5						
До 10,0	3,2–3,4	СВП-17	0,15	0,18	0,20	600,800,1000
10,0–11,4	3,5–3,8	СВП-19	0,16	0,20	0,23	То же
11,6-14,3	4,0-4,8	СВП-22	0,19	0,22	0,26	– «–
14,3-16,2	4,2-4,8	СВП-27	0,21	0,25	0,29	– «–
16,4–19,0	5,2–5,5	СВП-27	–	0,25	0,29	– «–
16,4–19,0	5,2–5,5	СВП-33	–	0,31	0,32	– «–
19,0–20,0	5,5–6,0	СВП-33	–	0,31	0,32	– «–

* Данные о сопротивлении крепей в податливом режиме представлены ДонУГИ и НИИОГР (замки ЗПК).

** Конструктивная вертикальная податливость крепи: в числителе – с плоской планкой и ЗСД; в знаменателе – с замками ЗПК И ОЗШ. Для крепей КМП-А5 первое, второе и третье значения конструктивной податливости относятся к крепи с дополнительной стойкой длиной соответственно 700, 900 и 1200 мм.

Окончание таблицы

Сечение выработки в свету до осадки, м^2	Ширина выработки в свету до осадки, м	Тип спецпрофиля	Сопротивление крепи, МН, в податливом режиме в зависимости от вида соединительных узлов			Конструктивная вертикальная податливость крепи, мм
			Прямые планки и скобы с резьбой	ЗСД	ЗПК, ОЗШ АП-3Ум	
Кольцевая КМП-К4						
До 8,0	До 3,0	СВП-17	–	–	0,20	300
8,0–10,0	3,0–3,8	СВП-22	–	–	0,26	300
10,0–14,0	3,8–4,8	СВП-27	–	–	0,29	300
Трапециевидная (прямоугольная) КМП-Т(П)						
8,0–11,0	3,8–5,0	СВП-22	–	0,22	0,26	700
8,0–11,0	3,8–5,0	СВП-27	–	0,24	–	700
9,5–13,1	3,8–5,0	СВП-22	–	0,22	–	1000
9,5–13,1	3,8–5,0	СВП-27	–	0,24	0,29	1300
Трапециевидная (прямоугольная) КМПТ (П) с одной средней стойкой						
8,0–11,0	3,8–5,0	СВП-22	–	0,42	0,50	700
8,0–11,0	3,8–5,0	СВП-27	–	0,49	0,57	700
9,5–13,1	3,8–5,0	СВП-22	–	0,42	0,50	1300
9,5–13,1	3,8–5,0	СВП-27	–	0,49	0,57	1300

2. Параметры смешанной крепи* (по данным КузНИУИ)

Сечение выработки в свету, м^2	Длина верхняка в свету, м	Сопротивление рамы смешанной крепи, МН, при профиле проката верхняка				
		СВП-17	СВП-22	СВП-27	1 № 18	1 № 20
3,7–5,6	2,0	0,176	–	–	0,200	–
3,7–5,6	2,2	0,160	–	–	0,181	0,227
5,9–6,5	2,4	0,147	0,224	–	0,167	0,208
7,0	2,6	0,136	0,207	–	0,155	0,193
7,5–8,2	2,8	0,126	0,192	0,261	0,143	0,179
9,4	2,9	0,122	0,185	0,252	0,138	0,173
8,7	3,0	0,118	0,179	0,243	0,133	0,167
10,0	3,2	0,110	0,168	0,228	0,125	0,156
8,7–9,5	3,3	0,106	0,164	0,220	0,122	0 151
10,5	3,4	0,102	0,160	0,214	0,120	0,146

* Смешанная крепь состоит из деревянных стоек и металлического верхняка.

3. Параметры деревянной крепи

Сечение выработки в свету до осадки, м^2	Длина верхняка, м	Сопротивление рамы деревянной крепи, МН, при диаметре врехняка, см				
		16	18	20	22	24
3,7–5,6	2,0	0,064	0,091	0,125	–	–
3,7–5,5	2,2	0,058	0,083	0,114	–	–
4,2–6,5	2,4	0,054	0,076	0,105	–	–
4,8–6,5	2,6	–	0,070	0,097	–	–
5,2–7,2	2,8	–	0,065	0,090	0,119	–
5,8–7,2	3,0	–	0,061	0,084	0,111	–
6,4–7,4	3,2	–	0,057	0,078	0,104	–
6,4–8,0	3,4	–	0,054	0,074	0,098	–
6,4–9,4	3,6	–	–	0,070	0,093	–
7,4–9,8	3,9	–	–	0,064	0,086	–
7,6–10,3	4,1	–	–	0,061	0,081	0,106
7,6–11,1	4,5	–	–	0,056	0,074	0,097
9,5–12,0	4,8	–	–	–	0,070	0,090
10,4–12,5	4,9	–	–	–	–	0,089
10,4–12,5	–	–	–	–	–	0,087

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПИ НА СОПРЯЖЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

1. Расчет балок и стоек камерных рам и рам инвентарных крепей сопряжений

1.1. Параметры балок (верхняков) и стоек камерных рам и рам инвентарных крепей сопряжений рассчитывают по известным методам сопротивления материалов.

Если заданы балка, нагрузка на балку и предел прочности материала камерной балки на изгиб $\sigma_{изг}$ (МПа), то можно подобрать сечение балки исходя из требуемого момента сопротивления $W_{треб}$ ($м^3$; $см^3$), определяемого по формуле:

$$W_{треб} = M_{max}/\sigma_{изг}, \quad (1)$$

где M_{max} – максимальный изгибающий момент, МН/м.

Наибольшее значение изгибающего момента для балки длиной $l_б$ (м), опирающейся концами на опоры и испытывающей распределенную нагрузку q (МН/м), будет посередине балки:

$$M_{max} = \frac{q l_б^2}{8}. \quad (2)$$

Тогда выражение (1) можно записать в виде:

$$W_{треб} = \frac{q l_б^2}{8\sigma_{изг}}. \quad (3)$$

1.2. Согласно п. 7.3 настоящей Методики на 1 м длины выработки (сопряжения) при рамной податливой крепи со стороны кровли действует нагрузка P (МН/м), равная

$$P = K_п K_н K_{пр} P^н b, \quad (4)$$

где $P^н$ – нормативная нагрузка на податливую крепь (МПа), определяемая по графику (см. рис. 18) в зависимости от смещения пород $U_{кр}$; b – ширина (пролет) основной выработки в проходке, м; $K_п$, $K_н$, $K_{пр}$ – коэффициенты перегрузки, надежности и способа проведения выработки.

При параллельном (или близком к параллельному) расположении оси камерной балки относительно оси основной выработки на балку будет действовать нагрузка, в два раза меньшая чем P, так как площадь кровли, поддерживаемая балкой, ограничена полупролетом основной выработки $b/2$. Тогда нагрузка на один метр длины камерной балки q (МН/м) определится из выражения:

$$q = K_п K_н K_{пр} P^н b/2, \quad (5)$$

а требуемый момент сопротивления балки будет равен

$$W_{треб} = \frac{0{,}5 K_п K_н K_{пр} P^н b l_б^2}{8\sigma_{изг}}. \quad (6)$$

По вычисленной требуемой величине сопротивления камерной балки $W_{\text{треб}}$ подбирается (по справочной литературе) с некоторым запасом сечение $F_{\text{б}}$ (см^2). Запас предусматривается в связи с тем, что в балке возможно еще дополнительное напряжение от ее собственного веса.

В том случае, когда в качестве камерной рамы используется рама деревянной крепи, по формуле (6) находят момент сопротивления деревянной балки $W_{\text{треб}}$ при соответствующем значении $\sigma_{\text{изг}}$, а затем вычисляют ее диаметр $d_{\text{б}}$ (м; см).

$$d_{\text{б}} = \sqrt[3]{\frac{32W_{\text{треб}}}{\pi}}. \qquad (7)$$

1.3. Нагрузка на балку инвентарной крепи, установленной на сопряжении штрека с очистным забоем в качестве крепи усиления, определяется по формуле:

$$P_{\text{и к}} = P - (P_{\text{о к}} + P_{\text{к у}}), \qquad (8)$$

где P – действующая нагрузка со стороны пород кровли, воспринимаемая всеми видами крепи, применяемыми на рассматриваемом сопряжении (определяется в зависимости от смещений пород на том участке сопряжения, где устанавливается инвентарная крепь, по табл. 9 и пп. 7.3, 7.4 настоящей Методики); $P_{\text{о к}}$ – сопротивление основной крепи сопряжения; $P_{\text{к у}}$ – сопротивление дополнительной крепи усиления (для случая, если такая используется).

Величины $P_{\text{о к}}$ и $P_{\text{к у}}$ определяются согласно пп. 7.3 – 7.5 настоящей Методики.

Тогда распределенная нагрузка на один метр длины балки инвентарной крепи q (МН/м) составит

$$q = 1{,}5\, P_{\text{и к}} b, \qquad (9)$$

где b – ширина штрека в проходке, м.

Согласно п. 6.8 настоящей Методики следует учесть возможное увеличение действующей нагрузки на крепь сопряжения при попадании его в зону действия вторичных (последующих) осадок основной кровли. В этом случае нагрузку необходимо умножить на 1,25 или 1,5 (см.п. 6.8).

Требуемый момент сопротивления балки составит

$$W_{\text{треб}} = \frac{1{,}5 P_{\text{и к}} b l^2_{\text{б}}}{8\delta_{\text{изг}}}. \qquad (10)$$

По вычисленной требуемой величине сопротивления балки инвентарной крепи $W_{\text{треб}}$ подбирается (по справочной литературе) номер профиля с некоторым запасом сечения или проверяется принятый профиль в паспорте крепления.

1.4. Стойки камерных рам и рам инвентарной крепи рассчитываются на прочность с учетом их устойчивости.

Для камерных рам стойки наиболее целесообразно принимать из прокатной стали таврового или круглого сечения. На сопряжениях с небольшим сроком службы и при небольших поперечных размерах выработок применяются деревянные стойки круглого сечения.

Из конструктивных соображений стойки камерных рам могут быть приняты того же номера проката, что и для балки, а для рам инвентарной крепи в зависимости от величины действующих нагрузок и удобства их монтажа и демонтажа при передвижке крепи.

Если согласно формуле (5) на 1 м длины камерной балки действует нагрузка q, то вся балка воспримет нагрузку (МН)

$$P^{l}_{б} = q l_{б}, \qquad (11)$$

а на одну из стоек, на которые опирается балка, будет действовать сила (МН)

$$P_{ст} = 1/2\, q\, l_{б}\,. \qquad (12)$$

Тогда из выражений (5) и (12) получим формулу для расчета продольной сжимающей силы $P_{ст}$ (МН), передаваемой балкой на стойку,

$$P_{ст} = 0{,}25 K_{п} K_{н} K_{пр} P^{н} b l_{б}\,. \qquad (13)$$

Принятое сечение стойки $F_{ст}$ (см^2; м^2) проверяется на сжатие с учетом устойчивости по соотношению:

$$F_{ст} \geq \frac{P_{ст}}{\varphi[\sigma_{сж}]}\,, \qquad (14)$$

где $[\sigma_{сж}]$ – допускаемое напряжение на простое сжатие, МПа; φ – коэффициент уменьшения допускаемого напряжения сжатых стержней, зависящий от гибкости стойки λ и материала (определяется по табл. 21).

Таблица 21

Гибкость λ	Значения φ							
	Сталь			Чугун		Бетон		Дерево
	Ст 0 Ст 2 Ст 3 Ст 4	Ст 5 НЛ-1	НЛ-2 $\sigma_т$>320 МПа	СЧ15-30 СЧ12-18 СЧ15-36 СЧ41-40	СЧ21-44 СЧ28-48	тяжелый	легкий	
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	1,00	1,00	0,99
20	0,97	0,95	0,95	0,91	0,87	0,96	0,96	0,97
30	0,95	0,95	0,93	0,81	0,75	0,90	0,86	0,93
40	0,92	0,90	0,90	0,69	0,60	0,84	0,73	0,87
50	0,89	0,84	0,83	0,57	0,43	0,76	0,68	0,80
60	0,86	0,80	0,78	0,44	0,32	0,70	0,59	0,71
70	0,81	0,74	0,71	0,34	0,23	0,63	0,52	0,60
80	0,75	0,66	0,63	0,26	0,18	0,57	0,46	0,48
90	0,69	0,59	0,54	0,20	0,14	0,51	–	0,38
100	0,60	0,50	0,45	0,16	0,12	0,45	–	0,31
110	0,52	0,43	0,39	–	–	–	–	0,25
120	0,45	0,38	0,33	–	–	–	–	0,22
130	0,40	0,32	0,29	–	–	–	–	0,18
140	0,36	0,28	0,26	–	–	–	–	0,16

Окончание табл. 21

Гибкость λ	Значения φ							
	Сталь			Чугун		Бетон		Дерево
	Ст 0 Ст 2 Ст 3 Ст 4	Ст 5 НЛ-1	НЛ-2 $\sigma_т$>320 МПа	СЧ15-30 СЧ12-18 СЧ15-36 СЧ41-40	СЧ21-44 СЧ28-48	тяжелый	легкий	
150	0,32	0,27	0,23	–	–	–	–	0,14
160	0,29	0,24	0,21	–	–	–	–	0,12
170	0,26	0,21	0,19	–	–	–	–	0,11
180	0,23	0,19	0,17	–	–	–	–	0,10
190	0,21	0,17	0,15	–	–	–	–	0,09
200	0,19	0,16	0,14	–	–	–	–	0,08

Гибкость стойки λ определяется из выражения:

$$\lambda = \frac{\mu l_{ст}}{i}, \tag{15}$$

где μ – коэффициент приведения длины, величина которого зависит от условий закрепления концов стержня (стойки):

1) концы шарнирно-оперты, μ =1;

2) один конец защемлен, другой свободен, μ = 2;

3) оба конца защемлены, μ = ½;

4) один конец – защемленный, другой – шарнирно-опертый, μ = 2/3; $l_{ст}$ – длина стойки, см; i – радиус инерции сечения, определяемый из выражения:

$$i = \sqrt{J / F_{ст}}, \tag{16}$$

где $F_{ст}$ – площадь сечения стойки, см^2; J – момент инерции сечения стойки, см^4.

Для металлических стоек из двутавра и швеллера момент инерции принимается по сортаменту проката (по справочникам).

Для круглого сплошного сечения стоек с диаметром $d_{ст}$ (см) момент инерции определяется по формуле:

$$J = \frac{\pi d_{ст}^4}{64} \approx 0{,}05 d^4{}_{ст}. \tag{17}$$

Осевой момент кругового кольца (сечение трубы) определяется как разность моментов инерции большого круга с диаметром D (см) и малым диаметром d (см):

$$J = \frac{\pi}{64}(D^4{}_{ст} - d^4{}_{ст}) \approx 0{,}05(D^4{}_{ст} - d^4{}_{ст}). \tag{18}$$

Проверку принятого сечения стойки $F_{ст}$ можно провести также по допускаемому напряжению по соотношению:

$$\sigma_р = \frac{P_{ст}}{\varphi F_{ст}} \le [\sigma_{сж}], \tag{19}$$

где $\sigma_р$ – расчетное напряжение.

Из табл. 21 следует, что допускаемое напряжение при продольном изгибе зависит от гибкости стойки, т. е. от отношения $l_п/i=\lambda$ (где $l_п = \mu l_{ст}$); чем это отношение меньше, тем больше допускаемое напряжение. Следовательно, при данной длине стойки и данной площади сечения будет выгоднее такое сечение, у которого материал распределен по возможности дальше от главных центральных осей инерции. Поэтому кольцевое сечение в этом отношении значительно выгоднее, чем сплошное круговое. При одной и той же длине стойки допускаемое напряжение для кольцевого сечения в три раза больше, чем для сплошного.

На сопряжениях с большим пролетом камерные балки опираются на бетонные опоры, которые в соответствии со СНиП II-94-80 должны иметь минимальные размеры: по длине –2000 мм и по ширине со стороны сопряжения – 500 мм.

Безопасные условия сооружения сопряжений с рамной крепью обеспечиваются возведением постоянной крепи на небольших заходках при проходке выработки под защитой временной крепи, в качестве которой, как правило, применяют стоечную крепь.

Расчет стоек инвентарной крепи выполняется так же, как для камерных рам.

1.5. Пример расчета балок и стоек камерных рам рассмотрим для сопряжения, приведенного в п. 2 прил. 2 настоящей Методики.

Ширина и высота основной и примыкающей выработок соответственно равны $b = 3{,}55$ м и $h = 2{,}88$ м.

В рассматриваемых условиях ожидаемые смещения пород со стороны кровли составляют $U = 90$ мм. Для крепления сопрягающихся выработок принята арочная податливая крепь из СВП-22 с плотностью установки $n = 0{,}8$ рамы/м. Нормативная нагрузка на крепь составляет $P \approx 0{,}04$ МПа, а нагрузка на 1 м длины сопряжения $P = 0{,}156$ МН/м.

Длину камерной балки принимаем $l_б = 4{,}0$ м, а длину стойки $l_{ст} = 2{,}5$ м. Предел прочности материала камерной балки из двутаврового профиля $\sigma_{изг} = 2400$ кгс/см^2 = 240 МПа. Допустимое напряжение на простое сжатие материала металлической стойки круглого сечения $[\sigma_{сж}] = 2100$ кгс/см^2 = 210 МПа.

Следует подобрать номер профиля двутавровой балки и требуемое её сечение, а также необходимое сечение стойки камерной рамы.

Р е ш е н и е. По формуле (6) определяем требуемый момент сопротивления камерной балки:

$$W_{треб} = \frac{0{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}04 \cdot 3{,}55 \cdot 4^2}{8 \cdot 240} = 0{,}00065 \ (м^3) = 650 \ (см^3).$$

Подбираем (по справочнику) два двутавра №27 с суммарным сопротивлением балки $W_б = 2 \cdot 371 = 742$ (см^3).

Далее производим расчет стоек, на которые опирается балка.

Принимаем для расчета стальные стойки ($[\sigma_{сж}] = 210$ МПа) круглого сечения (трубы) с внешним диаметром $D_{ст} = 27$ см и внутренним $d_{ст} = 23$ см, площадью сечения $F_{ст} = 157$ см^2 (толщина стенки $\delta = 20$ мм).

Момент инерции сечения стойки составляет

$$J = \frac{\pi}{64}(D^4_{ст} - d^4_{ст}) = \frac{3{,}14}{64}(27^4 - 23^4) = 12328 \ см^4,$$

тогда радиус инерции трубы будет равен:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F_{ст}}} = \sqrt{\frac{12328}{157}} = 8{,}9.$$

Гибкость стойки определяем по формуле (15) при $\mu = 2$ и $i = 8{,}9$.

$$\lambda = \frac{\mu l_{ст}}{i} = \frac{2 \cdot 250}{8{,}9} = 56{,}2 .$$

Тогда по табл. 21 находим значение $\varphi = 0{,}87$ (для Ст. 3 при $\lambda = 56{,}2$).

Продольная сила, передаваемая на стойку камерной балкой, рассчитываемая по формуле (13), составит

$$P_{ст} = 0{,}25 \cdot 1{,}1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0{,}04 \cdot 3{,}55 \cdot 4 = 0{,}156 \text{ (МН)}.$$

Принятое сечение стойки $F_{ст}$ проверяем на сжатие с учетом устойчивости по соотношению:

$$F_{ст} \geq \frac{P_{ст}}{\varphi[\sigma_{сж}]} = F_{р},$$

$$F_{р} = \frac{0{,}156}{0{,}87 \cdot 210} = 0{,}00085 \,(м^2),$$

$$F_{ст} > F_{р}.$$

Таким образом, принятое сечение стойки $F_{ст} = 157$ см^2 с большим запасом обеспечит ее устойчивость.

Произведем проверку сечения по допускаемому напряжению:

$$\sigma_{р} = \frac{P_{ст}}{\varphi F_{ст}} = \frac{0{,}156}{0{,}87 \cdot 157 \cdot 10^{-4}} = 11{,}5 \text{ (МПа)},$$

т. е. $\sigma_{р} = 11{,}5 < [\sigma_{сж}] = 210$ (МПа).

Как отмечено ранее, стойки камерных рам целесообразно из конструктивных соображений принимать того же номера проката, что и для балки.

Примем в качестве стойки двутавр № 27. Площадь поперечного сечения такой стойки составляет $F_{ст} = 40{,}2$ см^2, а момент инерции $J = 5010$ см^4 (по справочнику). Прочность материала на сжатие $\sigma_{сж} = 240$ МПа.

Определим радиус инерции стойки:

$$i = \sqrt{J / F_{ст}} = \sqrt{5010 / 40{,}2} = 11{,}2,$$

гибкость стойки определяем при $\mu = 2$ и $i = 11{,}2$.

$$\lambda = \frac{\mu l_{ст}}{i} = (2 \cdot 250)/11{,}2 = 44{,}6,$$

тогда по табл. 21 находим значение $\varphi = 0{,}90$.

Сечение стойки $F_{ст}$ проверяем на допустимое напряжение

$$\sigma_{р} = 0{,}156/(0{,}90 \cdot 40{,}2 \cdot 10^{-4}) = 43 \text{ (МПа)},$$

т. е. $\sigma_{р} < [\sigma_{сж}]$, стойка из двутавра № 27 длиной 2,5 м устойчива с большим запасом.

2. Расчет параметров комбинированной крепи сопряжения из анкеров и набрызгбетона

Как отмечено в разд. 6, на сопряжениях в условиях I и II категорий интенсивности проявлений горного давления, помимо поддерживающих, рекомендуется применять комбинированные крепи из анкеров и набрызгбетона толщиной не менее

50 мм с металлической сеткой. В качестве примера на рис. 30 показано закрепленное такой крепью сопряжение сечением в свету 14,2 м^2 (в проходке 15,6 м^2).

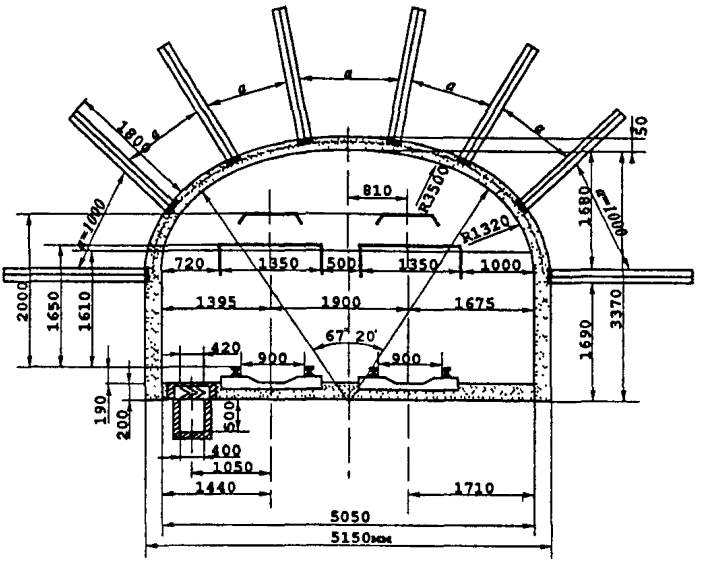


Рис. 30. Анкерная крепь в комбинации с набрызгбетоном,
М 1:50, $S_{св}$ = 14,2 м^2; $S_{пр}$ = 15,6 м^2

Расчет анкерной крепи производится в соответствии с разд. 7 настоящей Методики, а толщину набрызгбетона определяют с учетом его совместной работы со слоем жестко сцепленной с ним породы по формуле:

$$\delta = 0{,}78 a_a \frac{E_б}{E_б + E_п} \sqrt{\frac{a_a \gamma K_п}{2 tg\rho [\sigma]} \ln \frac{a_a}{l_{пл}}}, \qquad (20)$$

где $E_б$, $E_п$ – модули упругости набрызгбетона и породы; [σ] – расчетное напряжение набрызгбетона, равное напряжению на изгиб; $l_{пл}$ – половина ширины опорной плиты анкерного крепления; ρ – угол внутреннего трения породы, градусы; a_a – расстояние между анкерами

$$a_a = \sqrt{N_a / P_a}, \qquad (21)$$

где N_a и P_a – соответственно несущая способность анкера и сопротивление анкерной крепи. Наличие металлической сетки учитывается в величине [σ]; $K_п$ – коэффициент перегрузки ($K_п$ = 1,2); γ – объемный вес пород, МН/м^3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. Область и условия применения 5
2. Общие положения 5
3. Основные исходные данные и расчетные положения 9
4. Выбор места расположения и охрана сопряжений 12
5. Расчет смещений пород и оценка интенсивности горного давления 14
6. Выбор крепи сопряжений горных выработок 28
7. Расчет параметров крепи сопряжений горных выработок 31
ЛИТЕРАТУРА 44
Приложение 1. Определение областей взаимовлияния сопрягающихся выработок . . . 47
Приложение 2. Примеры расчета параметров крепи сопряжений горных выработок . . . 54
Приложение 3. Рекомендации по креплению сопряжений с большим пролетом . . . 70
Приложение 4. Характеристика рамных податливых крепей 74
Приложение 5. Расчет несущей способности элементов крепи на сопряжении горных выработок 77

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ НА СОПРЯЖЕНИЯХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОДИНАРНОЙ И ПАРНОЙ ПОДГОТОВКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ

Оригинал-макет подготовлен РИО ВНИМИ

Зав РИО *Е. Н. Потоцкая*
Редактор *Е. М. Платонова*
Технический редактор *Л. П. Хлюпина*
Компьютерная верстка *Л. П. Хлюпиной, Н. А. Мустафиной*

Подписано к печати 04.04.2004 г.
Формат 60×90/16. Печ. л. 5,5. Офсетная печать. Тираж 150. Заказ № 214

Отпечатано с оригинал-макета в Академической типографии «Наука»РАН
199034, С.-Петербург, 9 линия, 12

gost.e-ecolog.ru