

В. Бондаренко, И. Ковалевская,
Г. Симанович, В. Черватюк,
В. Снигур, А. Малыгин

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

крепления и охраны
выемочных выработок
на пологих пластах

Министерство энергетики
и угольной промышленности Украины
Министерство образования и науки Украины
ГосВУЗ «Национальный горный университет»

Министерство энергетики и угольной промышленности Украины
Министерство образования и науки Украины
Государственное ВУЗ «Национальный горный университет»
(Государственное ВУЗ «НГУ»)



УТВЕРЖДАЮ:

Директор департамента реструктуризації угольної промисловості


А.В. Вивчаренко

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ КРЕПЛЕНИЯ И ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК НА ПОЛОГИХ ПЛАСТАХ

Днепропетровск

УДК 622.284

Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Черватюк В.Г., Снигур В.Г., Малыхин А.В. **Технологический регламент крепления и охраны выемочных выработок на пологих пластах.**

Разработчики: Свистун Р.Н., Фомичев В.В., Лапко В.В., Демидов М.Н., Мамайкин А.Р., Соцков В.А., Астафьев Д.О., Шаповалов Я.А., Яркович А.И.

Технологический регламент является дополнением к действующим нормативным документам по выбору параметров охранных и крепежных систем выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов в слоистом массиве слабых пород.

Регламент может быть использован научными сотрудниками проектных и научно-исследовательских институтов горнодобывающей отрасли, инженерно-техническими работниками производственных объединений, а также студентами горных ВУЗов и факультетов.

Печатается в авторской редакции.

© Бондаренко В.И., Ковалевская И.А.

© Симанович Г.А., Черватюк В.Г.

© Снигур В.Г., Малыхин А.В.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	8
1.1 Назначение документа	8
1.2 Область применения	8
1.3 Связь с другими документами	8
2 ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА	10
3 ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РАССЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ	20
4 РАСЧЕТ МАКСИМУМОВ ПРИВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМЫ «ПОРОДНЫЙ МАССИВ- ВЫЕМОЧНАЯ ВЫРАБОТКА-ЛИТАЯ ПОЛОСА»	25
5 АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЛИТОЙ ПОЛОСЫ С РАЗГРУЗОЧНОЙ ПОЛОСТЬЮ	39
6 ПРИМЕР ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЛИТОЙ ПОЛОСЫ, УСИЛЕНИЯ РАМНОЙ КРЕПИ И УПРОЧНЕНИЯ БОКОВЫХ ПОРОД АНКЕРАМИ	50
7 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ВОЗВЕДЕНИЯ ЛИТОЙ ПОЛОСЫ С РАЗГРУЗОЧНОЙ ПОЛОСТЬЮ	57
7.1 Требования к технологи возведения литой полосы	57
7.2 Выбор способа возведения литой полосы	58
7.3 Совершенствование конструктивно-технологической схемы возведения литой полосы с разгрузочной полостью	59
7.4 Организация работ и техника безопасности при возведении литой полосы	72
8 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК	76
8.1 Расчет нагрузки на рамную крепь выемочной выработки	76
8.2 Расчет параметров установки анкеров в рамно-анкерной крепи	83
8.3 Выбор параметров анкера регулируемого постоянного сопротивления	100
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК	105

ВВЕДЕНИЕ

Проблема поддержания выемочных выработок ресурсосберегающими технологиями приобретает для угольной промышленности Украины все большую актуальность по ряду основных причин: во-первых, неуклонная тенденция к усложнению горно-геологических условий разработки пологих угольных пластов; во-вторых, постоянно растущие материальные и трудовые затраты на крепление выработок; в-третьих, необходимость ужесточения требований безопасного ведения подземных работ. В данной экономической ситуации наиболее перспективным остается направление повышения устойчивости выемочных выработок за счет упрочнения приконтурных пород и вовлечения их в работу по противодействию горному давлению. Мировой опыт подтверждает высокую эффективность методов упрочнения приконтурного массива анкерами с образованием грузонесущих конструкций высокой несущей способности. Отмеченные преимущества отражены в решениях отраслевого ведомства, например, по широкомасштабному применению анкерной крепи.

В настоящее время на шахтах Украины получают все большее распространение рамно-анкерные крепи горных выработок, включающие в свои конструкции различные типы анкеров, которые выполняют две основные функции: во-первых, упрочняют приконтурные породы, вовлекая их в работу по сопротивлению активным нагрузкам со стороны породного массива путем формирования грузонесущей породной оболочки; и, во-вторых, анкера, имея конструктивную механическую связь с элементами рамной крепи за счет усилия натяжения, создают дополнительные точки опоры рамной крепи. Первая функция анкеров позволяет снизить нагрузку на раму за счет восприятия части нагрузок упрочненной породной оболочкой, а вторая функция – повысить несущую способность рамной крепи за счет снижения интенсивности поля напряжений в материале рамы с помощью реакции анкеров. В результате сочетания анкеров с рамной крепью можно создавать рамно-анкерные крепи, которые отличаются пониженной материалоемкостью при высокой несущей способности, то есть такие крепи могут с достаточной эффективностью применяться для поддержа-

ния выемочных выработок, эксплуатируемых в сложных горно-геологических условиях.

На основе анализа современных конструкций рамно-анкерных крепей и опыта их применения для крепления горных выработок сформулированы три основных требования, выполнение которых повышает эффективность работы крепи по поддержанию выемочных выработок в устойчивом состоянии.

Первое – соответствие деформационно-силовой характеристики крепи характеру проявлений горного давления, то есть допускаемая податливость крепи должна быть не меньше величины ожидаемых смещений породного контура, а ее несущая способность – не менее прогнозируемой нагрузки на крепь.

Второе – деформационно-силовые характеристики основных элементов, составляющих рамно-анкерную крепь (например, рама, анкер и механические связи), должны соответствовать друг другу в плане достижения синхронности работы элементов крепи при ее взаимодействии с породным массивом. Это означает, что конструкции элементов и их связи между собой должны обеспечивать одновременный переход элементов крепи из одного режима работы в другой (например, из жесткого режима в податливый режим) во избежание неравномерного распределения нагрузок на элементы крепи.

Третье – рамно-анкерная крепь должна удовлетворять условию равнопрочности конструкции, то есть, в процессе работы крепи нагрузка на составляющие ее элементы должна распределяться пропорционально их несущей способности, что достигается выбором соответствующих механических и геометрических параметров крепи.

Перспективным направлением повышения устойчивости выемочных выработок является применение рамно-анкерной крепи в сочетании с опорно-анкерной (армопородной плиты в кровле) и крепи усиления, а также способом охраны выработок литыми полосами с разгрузочной полостью регулируемой конфигурации.

На основе установленных закономерностей связи напряженно-деформированного состояния (НДС) основных элементов системы «породный

массив-выемочная выработка-литая полоса» с геомеханическими и горнотехническими факторами поддержания выработки с учетом комплекса критериев оптимизации НДС системы разработан алгоритм выбора рациональных параметров литой полосы с разгрузочной полостью методом последовательных приближений. При этом учтены помимо глубины разработки структура и механические характеристики пород надугольной толщи (зоны беспорядочного обрушения и шарнирно-блокового сдвижения в выработанном пространстве, слоистый массив со стороны смежного выемочного участка), угольного пласта и пород его почвы, разупрочненных пород вокруг выработки, реальные параметры ее паспорта крепления и охраны. Полученный комплекс расчетов позволяет в замкнутом виде на стадии проектирования выбрать параметры литой полосы с разгрузочной полостью и разработать мероприятия по усилению рамной крепи выемочной выработки для обеспечения ее повторного использования.

Технологический регламент является дополнением к действующим нормативным документам по выбору параметров охранных и крепежных систем выемочных выработок при отработке пологих угольных пластов в слоистом массиве слабых пород.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Назначение документа

Настоящий регламент предназначен для использования специалистами угольных шахт и проектных организаций при разработке технической документации на поддержание повторно используемых выемочных выработок в углевмещающем слоистом массиве слабых пород.

Документ содержит рекомендации по выбору параметров ресурсосберегающих конструктивно-технологических схем крепления и охраны выемочных выработок, базовыми элементами которых являются податливая рамно-анкерная крепь и литая полоса с разгрузочной полостью.

1.2 Область применения

Регламент распространяется на угольные шахты с соответствующим диапазоном изменения геомеханических условий и технологических параметров ведения очистных работ:

- | | |
|---|------------------|
| – глубина разработки, м | – до 1200; |
| – угол падения пласта, град. | – до 18; |
| – мощность пласта, м | – 0,7-1,2; |
| – структура углевмещающей породной толщи | – тонкослоистая; |
| – длина выемочных столбов, м | – более 1000 м; |
| – среднесуточное подвигание очистного забоя, м/сут. | – до 10-12. |

1.3 Связь с другими документами

Регламент является итогом обобщения результатов научных исследований НГУ и практического опыта поддержания выемочных выработок с использованием современных технологий анкерного упрочнения приконтурных пород.

В данном регламенте использованы следующие документы отраслевого уровня:

– СОУ 10.1.00185790.011:2007 Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 113 с.;

– Временный технологический регламент по охране и поддержанию выемочных выработок при их повторном использовании. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – 23 с.;

– Технологический регламент поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами. – Днепропетровск – Донецк: «ВИК», 2009. – 36 с.;

– КД 12.01.01.501 – 98 Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 1999. – 42 с.;

– КД 12.01.01. 502 – 98 Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Порядок та організація. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 1999. – 14 с.;

– КД 12.01.01.201 – 98 Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. – К.: УкрНИМИ, 1998. – 149 с.

2 ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА

Изыскание резервов повышения рентабельности угледобычи неразрывно связано с широкомасштабным применением ресурсосберегающих технологий поддержания горных выработок, среди которых особо сложными условиями эксплуатации выделяются выемочные выработки. Эта группа подготовительных выработок занимает ключевые позиции в обеспечении бесперебойного и высокопроизводительного технологического процесса добычи угля, а объем их проведения однозначно определяет главное направление экономии ресурсов – повторное использование с минимизацией затрат на поддержание. Наиболее сложные горно-геологические условия отработки угольных пластов характерны для слоистого массива слабых пород, где проблема поддержания выемочных выработок чрезвычайно актуальна. Угольные шахты Украины не остались в стороне от современных тенденций активного использования технологии анкерного упрочнения, особенно такую разновидность как опорно-анкерное крепление [1] большей частью подготовительных выработок, включая выемочные. В зоне влияния очистных работ весьма интенсивный асимметричный характер проявлений горного давления пока не позволяет использовать только анкерную крепь, поэтому сохранение эксплуатационного состояния выемочных выработок обеспечивают комбинацией рамной и анкерной крепей [2-4], а после прохода лавы в сочетании с комбинированными охранными системами [2, 5, 6].

Позитивный эффект опорно-анкерного крепления по упрочнению пород кровли не подвергается сомнению, однако он будет существенно выше при ограничении или полном исключении выдавливания пород в боках и почве выемочных выработок. Этот процесс, например, в Западном Донбассе назван «эффектом штампа» [7, 8], сущность которого поясняется схемой на рис. 2.1. Вне зоны влияния очистных работ схема обусловлена двумя факторами: формированием в кровле опорно-анкерной системой армопородной плиты высокой жесткости, воспринимающей и передающей повышенную нагрузку на нижележащие породы в боках выработки; размещением в боках выработки более

крепкого и жесткого угольного пласта по сравнению с породами его непосредственной кровли и почвы. В зоне опорного давления впереди лавы «эффект штампа» усиливается с появлением асимметрии перемещений контура выработки в сторону выемочного участка. После прохода лавы действие жесткого угольного пласта на породы непосредственной почвы со стороны выработанного пространства заменяется нагрузкой от охранной конструкции, которая способствует сдвигению пород бермы в полость выемочной выработки и асимметричному проявлению пучения почвы.

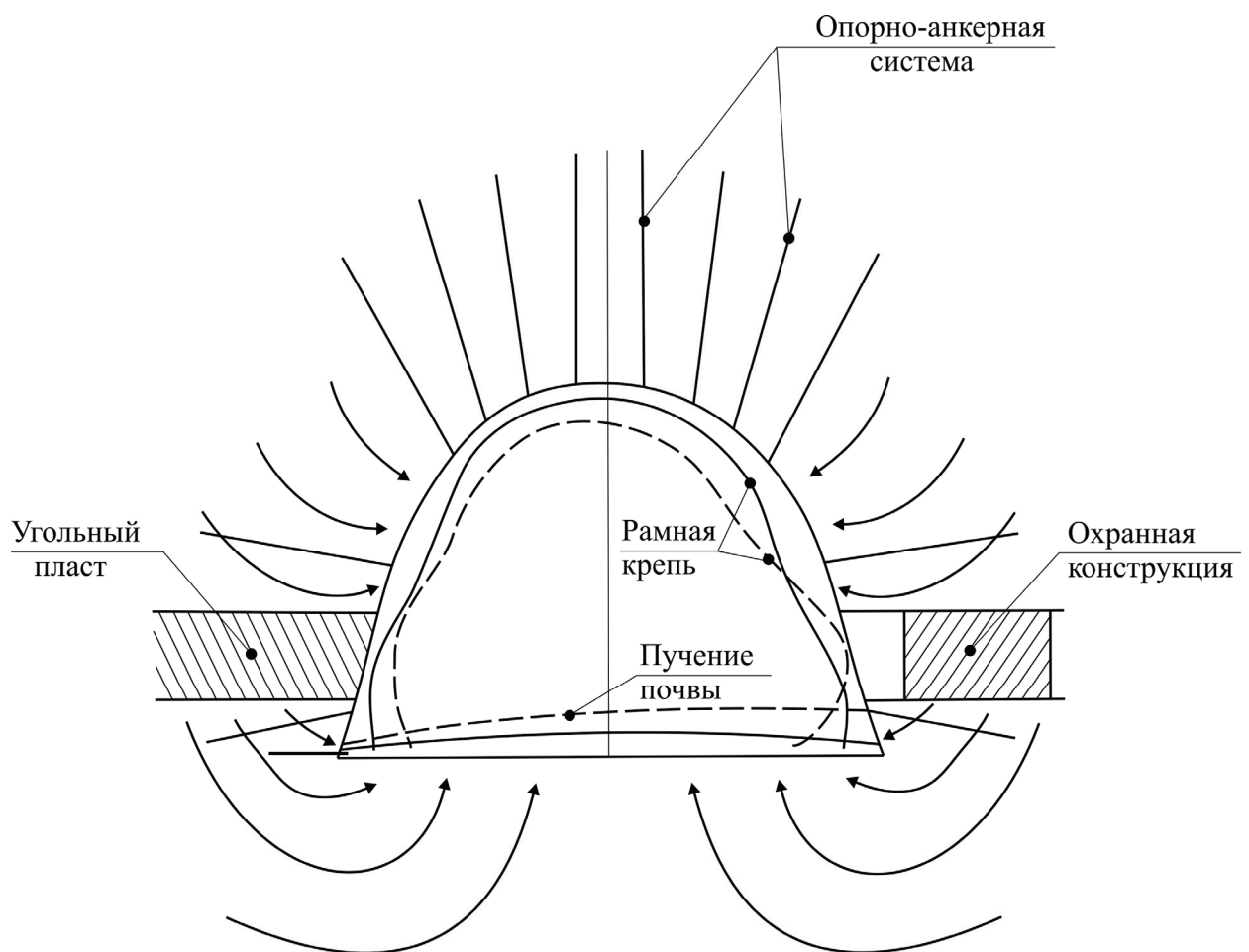


Рисунок 2.1 – Схема развития «эффекта штампа» и деформирования рамной крепи впереди (—) и позади (· - - -) очистного забоя

Ограничение действия «эффекта штампа» и повышение устойчивости выемочной выработки осуществляется установкой рамно-анкерной крепи в истинном понимании этого термина – рама и анкера соединяются пространственно-податливыми механическими связями (рис. 2.2 и 2.3), позволяющими перераспределять нагрузку пропорционально несущей способности каждого элемента рамно-анкерной системы. Сущность процесса поясняется на рис. 2.4, где отражена схема снижения максимумов M_i изгибающего момента в раме до уровня, когда она подвержена реакции боковых анкеров через пространственно-податливые связи, что тождественно увеличению несущей способности рамы, но не за счет увеличения ее металлоемкости, а путем приложения реакций боковых анкеров на определенных участках по высоте стоек рамы.

Шахтные исследования и математическое моделирование [9] указывают на наиболее целесообразные участки установки анкеров в боках выемочных выработок: в почве угольного пласта – на высоте 0,2-0,5 м от почвы выработки; в кровле угольного пласта – на высоте 1,8-2,2 м от почвы выработки. Наличие пространственно-податливых связей в составе рамно-анкерной крепи обеспечивает увеличение несущей способности рамы в 1,6-2,0 раза в вертикальном и в 2,5-3,5 раза в боковых направлениях, помимо упрочняющего эффекта неустойчивых боковых пород выемочных выработок непосредственно анкерами.

Значительные перемещения приконтурных пород выемочных выработок требуют согласования податливого режима работы рам и анкеров, в связи с чем наиболее эффективно применение податливых анкеров постоянного сопротивления, обеспечивающих автоматическое выполнение данного условия в сочетании с использованием конструкций пространственно-податливых связей элементов рамно-анкерной крепи.

В соответствии с геомеханическими закономерностями развития проявлений горного давления по мере движения очистного забоя предусмотрена технология поэтапного возведения крепежной и охранной систем нарастающего сопротивления:

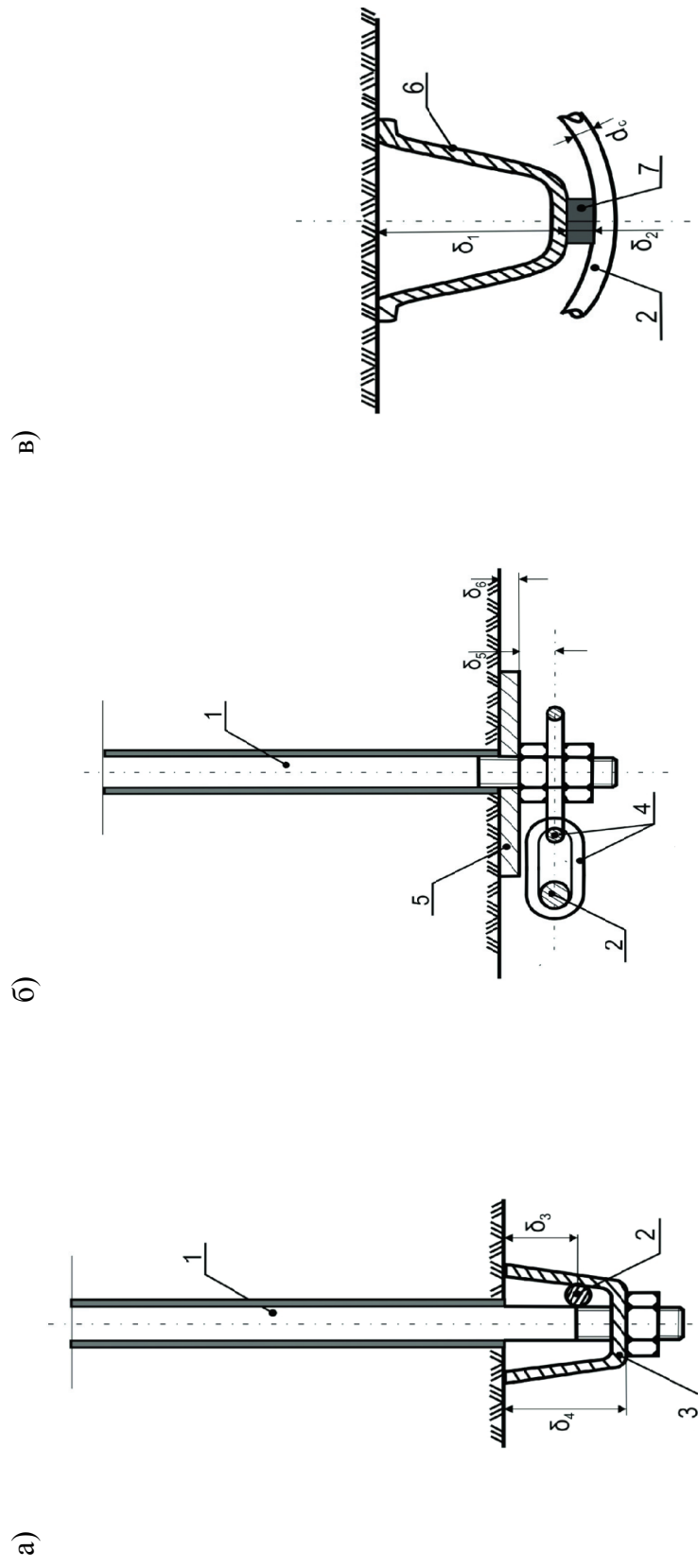
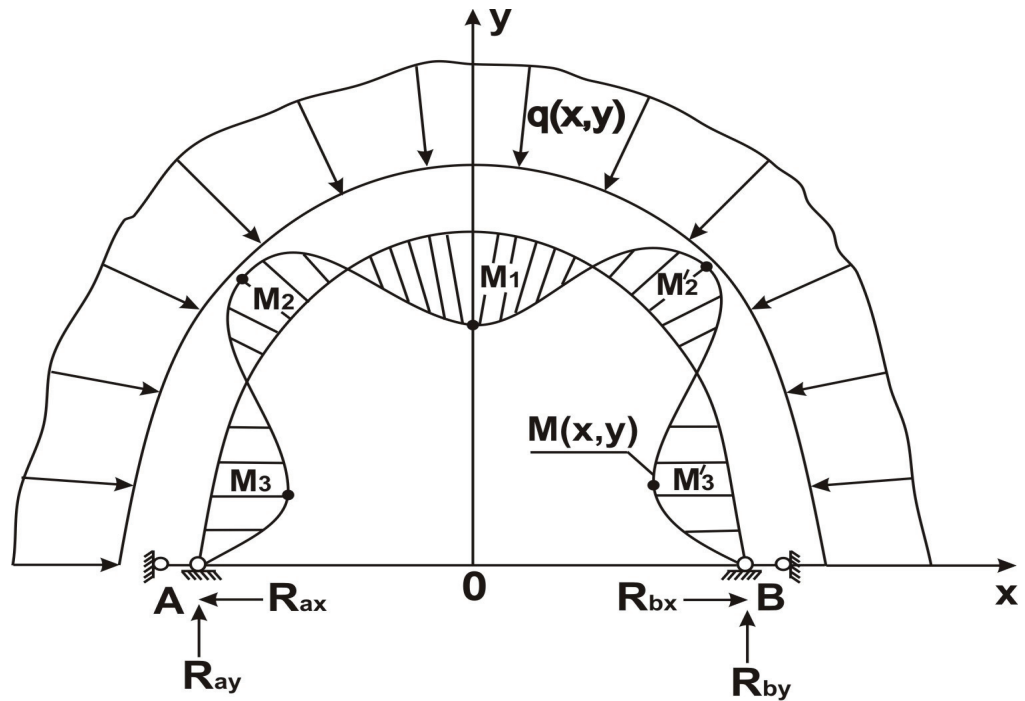


Рисунок 2.2 – Рекомендуемые конструкции связи гибкой стяжки и анкера с помощью отрезка СВП (а) или двух звеньев цепи (б), гибкой стяжки со стойкой рамы (в): 1 – арматура анкера, 2 – гибкая стяжка, 3 – отрезок СВП, 4 – звенья цепи, 5 – опорная плита, 6 – стойка рамы, 7 – деревянная прокладка



Рисунок 2.3 – Примеры поддержания выемочных штреков рамно-анкерной крепью и варианты механических связей анкеров и стоек рамы, объединенных в единую грузонесущую конструкцию

а)



б)

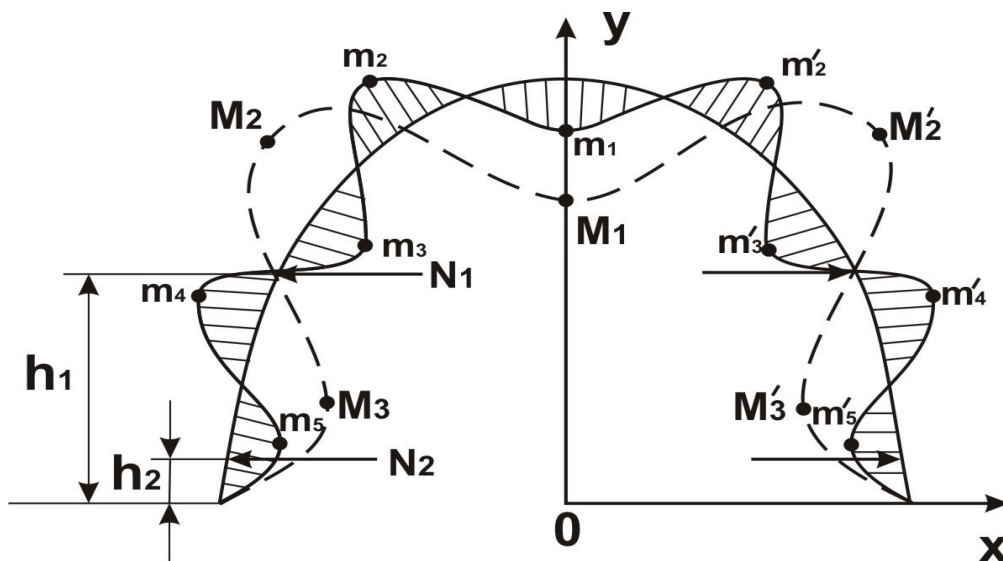


Рисунок 2.4 – К обоснованию принципа повышения несущей способности рамной крепи с помощью анкеров: а) общая схема нагружения рамы; б) схема понижения максимумов изгибающего момента:
 — до установки механических стяжек; - - - после установки гибких стяжек и создания рамно-анкерной крепи, как единой податливой грузонесущей конструкции

– в период проходки выемочной выработки по ее длине вне зоны влияния очистных работ возводится комбинированная крепежная система, включающая опорно-анкерное крепление в кровле и рамно-анкерную крепь с пространственно – податливыми связями четырех боковых анкеров с рамной трехзвеневой податливой крепью минимального профиля СВП (для предусмотренного проектом типового сечения) и максимального шага установки рам, что реализует стратегию ресурсосбережения в части противодействия и управления горным давлением преимущественно за счет регулирования параметров боковых анкеров;

– в зоне влияния очистных работ (опорного давления) впереди лавы (участок 2) производится установка податливых стоек крепи усиления (гидравлические стойки, податливые из спецпрофиля СВП и др.). При необходимости (определяемой расчетом) удваивается количество анкеров с пространственно – податливыми связями, устанавливаемых в непосредственной кровле и почве угольного пласта со стороны очистного забоя;

– позади лавы возводится охранная конструкция в виде литой полосы с разгрузочной полостью (рис. 2.5) для ограничения выдавливания пород бермы и почвы выемочной выработки; при необходимости (определяемой расчетом) упрочняется дополнительными анкерами приконтурные породы в боках.

Выбор параметров надежного поддержания выемочной выработки производится комплексно на основе одновременного управления НДС рамной крепи, пород бермы и литой полосы с разгрузочной полостью посредством регулирования ее параметров по критериям устойчивости путем сравнения максимумов интенсивности (приведенных) напряжений с соответствующими прочностными характеристиками каждого из перечисленных элементов. Основой способа управления НДС системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса» являются установленные закономерности связи максимумов приведенных напряжений в каждом из ее элементов с параметрами литой полосы с разгрузочной полостью.

Выбор параметров литой полосы с разгрузочной полостью, оценка необходимости усиления рамной крепи и упрочнения пород бермы выемочной вы-

работки построена на результатах многофакторного компьютерного моделирования геомеханических процессов в окрестности выемочных выработок позади очистного забоя со структурой и механическими характеристиками слоистой углевмещающей толщи, слабых пород при разработке пологих угольных пластов.

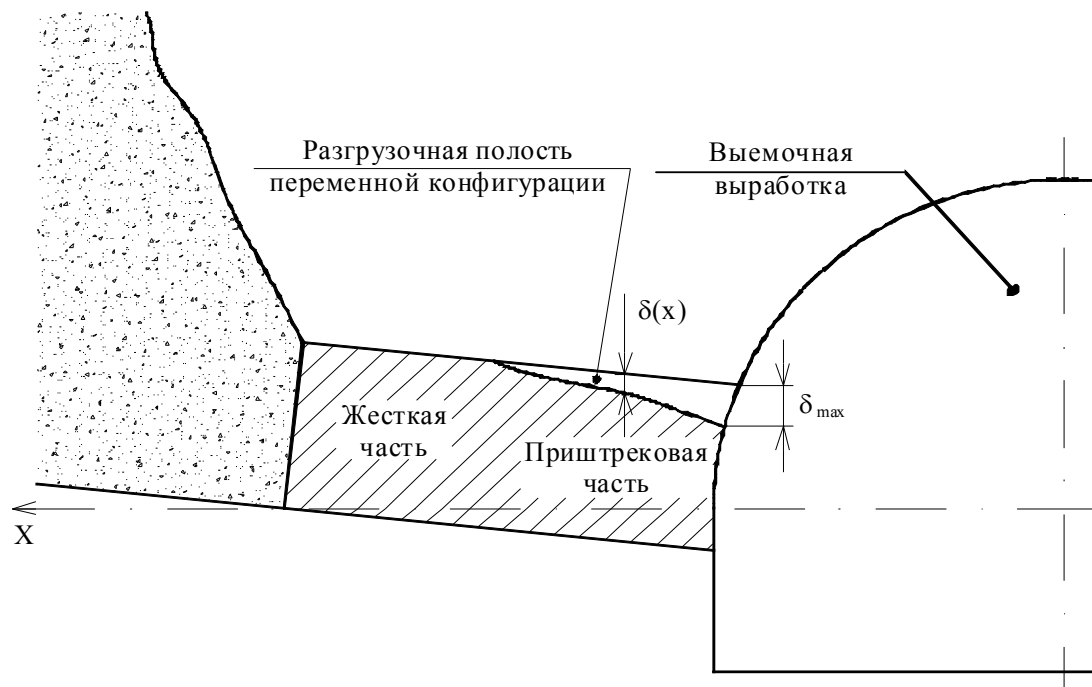


Рисунок 2.5 – Схема литой полосы с разгрузочной полостью

Комплекс многофакторных вычислительных экспериментов выполнен на базе метода конечных элементов с помощью современных прикладных программ и их приложений: построение моделей – *Solid Works-2005*, расчет НДС системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса» – *Cosmos Works Desain-Star Cosmos-M*.

Размеры пространственной геомеханической модели обоснованы из условия отражения всех экспериментально установленных структур углевмещающей толщи пологих пластов позади очистного забоя: в кровле – зоны беспорядочного обрушения, шарнирно-блокового сдвижения и плавного прогиба слоев без нарушения сплошности; в почве – слоистый массив; в боках – часть длины

очистного забоя с выемочными выработками и часть слоистого массива со стороны смежного выемочного участка; зона разупрочненных пород вокруг выемочной выработки. В итоге, размеры модели составили: по вертикальной оси 80 м, по горизонтальной оси 250 м, вдоль выработки смоделировано 7 рам.

Структура части массива, где развиваются основные геомеханические процессы, представлена угольным пластом с диапазоном колебания его общей мощности 0,7-1,2, шестью породными слоями в кровле и одним слоем в почве без учета «ложной» кровли и почвы. Механические характеристики породных слоев изменяются в интервале, характерном для углевмещающей тонкослоистой толщи слабых пород.

Моделирование геомеханических процессов в системе «породный массив-выемочная выработка-литая полоса» выполнено с учетом потери сцепления по плоскостям напластований породных слоев, как это наблюдается в шахтных условиях и подтверждено соответствующими расчетами.

Закономерности связи максимумов приведенных напряжений в рамной крепи, породах бермы выемочной выработки и литой полосе с ее регулируемы-ми параметрами получены на основе многофакторного корреляционно-дисперсионного анализа базы результатов расчета НДС системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса».

Выбор параметров литой полосы с разгрузочной полостью, оценка необходимости усиления рамной крепи и упрочнения пород бермы осуществляется за период эксплуатации выработки до окончания отработки выемочного участка.

При изменении механических характеристик породных слоев (в пределах высоты модели) по длине выемочной выработки более, чем на 30% в соответствии с требованиями КД 12.01.01.201-98 расчет параметров литой полосы с разгрузочной полостью, оценка необходимости усиления рамной крепи и упрочнения пород бермы должны производиться отдельно по участкам длины выработки.

Изложенная концепция технологического регламента управления горным давлением при поддержании повторно используемых выемочных выработок ресурсосберегающими технологиями обеспечивает высокопроизводительную работу очистных комплексов при столбовой системе разработки пологих угольных пластов в условиях тонкослоистого массива слабых пород.

3 ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 При выборе параметров литой полосы с разгрузочной полостью, оценке необходимости усиления рамной крепи и упрочнения пород бермы основными исходными данными являются:

- глубина размещения выработки;
- механические характеристики породных слоев почвы, непосредственной и основной кровли (четыре близлежащих слоя суммарной мощностью до 25 м) угольного пласта; реологический показатель;
- степень влияния ослабляющих факторов структурной нарушенности и обводненности почвы пласта;
- мощность и распределение по высоте модуля деформации пород зоны беспорядочного обрушения;
- ширина зоны разупрочненных пород в боку выработки со стороны смежного выемочного участка;
- сопротивление сжатию материала литой полосы.

3.2 Расчетная глубина размещения выработки H согласно КД 12.01.01.201-98 определяется по формуле

$$H = H_{np} \cdot K, \quad (3.1)$$

где H_{np} – проектная фактическая глубина размещения выработки или ее участка от поверхности, м; K – коэффициент концентрации напряжений, учитывающий отличие напряженного состояния массива горных пород от негидростатического состояния, обусловленного только собственным весом толщи пород до поверхности; для обычных условий вне зоны тектонических нарушений $K = 1$, а влияние очистных работ учитывается настоящим регламентом.

3.3 Определение механических характеристик породных слоев углевмещающей толщи производится по данным инженерно-геологических изысканий на конкретном участке шахтного поля.

3.4 Расчетное сопротивление пород сжатию R определяется по формуле

$$R = \sigma_{сж} \cdot K_c \cdot K_w \cdot K_t, \quad (3.2)$$

где $\sigma_{сж}$ – среднее значение сопротивления пород в образце одноосному сжатию, МПа; K_c – коэффициент, учитывающий дополнительную нарушенность массива пород поверхностями ослабления без сцепления или малой связностью; определяется по таблице 3.1; K_w – коэффициент, учитывающий разрушение обводняемых пород в результате фильтрации по массиву воды водоносных горизонтов; определяется по таблице 3.2; K_t – коэффициент, учитывающий снижение сопротивления породы одноосному сжатию при длительном нагружении, рассчитывается по формуле

$$K_t = \sqrt{1 - \frac{x}{\beta}}, \quad (3.3)$$

где $\frac{x}{\beta}$ – реологический показатель; определяется в соответствии с исследованиями ИГТМ НАН Украины по формуле

$$\frac{x}{\beta} = 0,8 - 0,326 \lg \sigma_{сж}. \quad (3.4)$$

Таблица 3.1 – Коэффициент структурного ослабления пород

Среднее расстояние между поверхностями ослабления пород, м	K_c
Более 1,5 м	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 3.2 – Коэффициент разупрочнения обводненных пород

Тип пород	K_w
Песчаники и сланцы кремнистые	0,8
Песчаники известковые и известняки	0,7
Песчаники глинистые и алевролиты	0,6
Аргиллиты и мергели	0,5
Глины	0,4...0,5

3.5 Расчетный модуль деформации близлежащих породных слоев определяется по формуле

$$E = E_{y..m} \left(1 - \frac{x}{\beta}\right), \quad (3.5)$$

где $E_{y..m}$ – условно-мгновенный модуль деформации породы; определяется по данным инженерно-геологических изысканий.

3.6 Модуль деформации $E^{об}$ пород зоны беспорядочного обрушения изменяется по высоте h этой зоны согласно исследованиям ДонНТУ и определяется специальными испытаниями для конкретного участка шахтного поля. При отсутствии таких данных рекомендуется использовать усредненные результаты исследований НГУ для углевмещающих пород Западного Донбасса: обрушенные породы по высоте h разделены на три подслоя – верхний (на границе с зоной шарнирно-блокового сдвижения) $E_s^{об} = 20$ МПа, средний $E_{cp}^{об} = 35$ МПа, нижний (на границе с почвой пласта) $E_n^{об} = 50$ МПа.

3.7 Высота зоны беспорядочного обрушения h определяется суммарной мощностью $m_i^{H,K}$ породных слоев непосредственной кровли и частью мощности m_y угольного пласта, соответствующей моменту обрушения основной кровли

$$h = \sum_i m_i^{H,K} + 0,4m_y. \quad (3.6)$$

Суммарная мощность породных слоев непосредственной кровли определяется по стратиграфической колонке для конкретного участка шахтного поля.

3.8 Ширина L области разупрочненных пород со стороны смежного выемочного участка формируется в процессе проведения и поддержания выработки еще до начала влияния очистных работ и определяется согласно исследованиям НГУ, например, для условий Западного Донбасса по формуле

$$L = L_6 \left(0,96 \frac{\gamma H}{R_{cp}^{н.к}} - 0,17 \right), \quad (3.7)$$

где L_6 – ширина выработки по почве в проходке, м; γ – средневзвешенный объемный вес пород надугольной толщи до дневной поверхности, $\frac{\text{МН}}{\text{м}^3}$; $R_{cp}^{н.к}$ – средневзвешенная величина расчетного сопротивления сжатию породных слоев непосредственной кровли, МПа

$$R_{cp}^{н.к} = \frac{\sum_i R_i^{н.к} \cdot m_i^{н.к}}{\sum_i m_i^{н.к}}. \quad (3.8)$$

3.9 Расчетный предел текучести σ_T стали Ст5, из которой изготавливаются рамные крепи из спецпрофиля СВП серий КМП-А3 (ТУ У 12.00185790.083-98) и КШПУ (ТУ У 29.5-00179051-001-2003), в соответствии с нормируемыми показателями принят $\sigma_T = 270$ МПа.

3.10 Геометрические параметры литой полосы с разгрузочной полостью изменяются в диапазонах: ширина литой полосы $1\text{ м} \leq l_1 \leq 3\text{ м}$, относительная ширина разгрузочной полости $0,4 \leq \frac{l_2}{l_1} \leq 0,6$, высота разгрузочной полости $0,1\text{ м} \leq \delta \leq 0,3\text{ м}$.

3.11 Приняты следующие обозначения параметров системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса», используемых в данном регламенте:

– $E_1^{о.к}$, $E_2^{о.к}$, $E_3^{о.к}$, $E_4^{о.к}$ – расчетный модуль деформации породных слоев основной кровли суммарной мощностью до 25 м (нумерация слоев производит-

ся от непосредственной кровли);

– $R_1^{н.к}$, $R_2^{н.к}$ и $E_1^{н.к}$, $E_2^{н.к}$ – соответственно расчетное сопротивление сжатию и расчетный модуль деформации породных слоев непосредственной кровли суммарной мощностью до 7 м (нумерация слоев производится от угольного пласта);

– $E_n^{об}$, $E_{cp}^{об}$, $E_в^{об}$ – модуль деформации соответственно нижней, средней и верхней части пород зоны беспорядочного обрушения;

– R^{noch} и E^{noch} – соответственно расчетное сопротивление сжатию и расчетный модуль деформации пород непосредственной почвы;

– H – расчетная глубина расположения выемочной выработки;

– h – мощность пород зоны беспорядочного обрушения;

– L – ширина разупрочненных пород со стороны смежного выемочного участка;

– $\sigma_{сж}^{\Pi}$ – предел прочности на одноосное сжатие отвердевшего камня литой полосы;

– σ_T – расчетный предел текучести стали Ст.5 рамной крепи из спецпрофиля СВП;

– l_1 , $\frac{l_2}{l_1}$ и δ – соответственно ширина литой полосы, относительная ширина и высота разгрузочной полости в полосе.

4 РАСЧЕТ МАКСИМУМОВ ПРИВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМЫ «ПОРОДНЫЙ МАССИВ- ВЫЕМОЧНАЯ ВЫРАБОТКА-ЛИТАЯ ПОЛОСА»

4.1 Согласно современным теориям прочности максимум приведенных напряжений является критерием оценки состояния (допредельное, предельное) каждого из основных элементов системы:

– для отвердевшего камня литой полосы σ_{max}^{Π} и пород бермы $\sigma_{max}^{\bar{o}}$ выемочной выработки величина приведенных напряжений рассчитывается в соответствии с общепринятой теорией прочности Кулона-Мора;

– для стали Ст.5 рамной крепи $\sigma_{max}^{p.i}$ величина приведенных напряжений определяется согласно теории прочности по максимальным касательным напряжениям, широко используемой для пластичных материалов.

4.2 Расчет максимумов приведенных напряжений в литой полосе производится по формуле

$$\sigma_{max}^{\Pi} = \sigma_u^{\Pi} \cdot K_1^{\Pi} \cdot K_2^{\Pi} \cdot K_3^{\Pi}, \quad (4.1)$$

где σ_u^{Π} – исходная (базовая) величина максимума приведенных напряжений

при $l_1 = 1\text{ м}$, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1\text{ м}$, определяется по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_u^{\Pi} = & \left[1,02 + 0,157 \cdot 10^{-4} \left(E_2^{o.k} + 0,7 E_3^{o.k} - 1,2 E_1^{o.k} - 0,3 E_2^{h.k} - 0,1 E_1^{h.k} \right) + \right. \\ & + 0,041 \sqrt{h \cdot L \frac{E_1^{h.k} + E_2^{h.k}}{E_1^{o.k} + E_2^{o.k}}} \left. \frac{H}{100} + \frac{0,058}{\sqrt{h}} \left(1 - \sqrt{\frac{E_1^{o.k}}{E_2^{h.k}}} \right) \times \right. \\ & \left. \times \left(0,6 E_n^{ob} + 0,5 E_{cp}^{ob} + 0,3 E_g^{ob} \right) \left[2,3 \left(\frac{H}{400} - 1 \right)^{1,5} - 1,4 \right]; \right. \end{aligned} \quad (4.2)$$

K_1^{Π} – коэффициент, учитывающий влияние ширины l_1 литой полосы; определяется по графику на рис. 4.1;

K_2^{II} – коэффициент, учитывающий влияние относительной ширины $\frac{l_2}{l_1}$

разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.1;

K_3^{II} – коэффициент, учитывающий влияние высоты δ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.1.

4.3 Расчет максимумов приведенных напряжений в породах бермы производится по формуле

$$\sigma_{max}^{\bar{o}} = \sigma_u^{\bar{o}} \cdot K_1^{\bar{o}} \cdot K_2^{\bar{o}} \cdot K_3^{\bar{o}}, \quad (4.3)$$

где $\sigma_u^{\bar{o}}$ – исходная (базовая) величина максимума приведенных напряжений

при $l_1 = 1$ м, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1$ м; определяется по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_u^{\bar{o}} = & \left[5,51 + 1,143 \cdot 10^{-4} (E_2^{o.k} + 0,4E_3^{o.k} - 1,2E_1^{o.k}) \right] \frac{H}{100} + \\ & + 1,48 \cdot 10^{-2} (h \cdot l)^{0,3} (0,8E_n^{ob} + 0,5E_{cp}^{ob} + 0,2E_8^{ob}) \times \\ & \times \left(\frac{0,5E^{noch} + 0,7E_1^{h.k} + E_2^{h.k}}{1,5E_1^{o.k} + E_2^{o.k}} \cdot \frac{H}{100} \right)^{0,7} + 3,12 \cdot 10^{-2} \sqrt{E^{noch} \frac{H}{100}}; \end{aligned} \quad (4.4)$$

$K_1^{\bar{o}}$ – коэффициент, учитывающий влияние ширины l_1 литой полосы; определяется по графику на рис. 4.2;

$K_2^{\bar{o}}$ – коэффициент, учитывающий влияние относительной ширины $\frac{l_2}{l_1}$

разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.2;

$K_3^{\bar{o}}$ – коэффициент, учитывающий влияние высоты δ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.2.

4.4 Расчет максимумов приведенных напряжений в рамной крепи производится для каждого из пяти участков возможного появления абсолютного максимума по контуру рамы (рис. 4.3):

$\sigma_{max}^{p.1}$ – замок свода рамы;

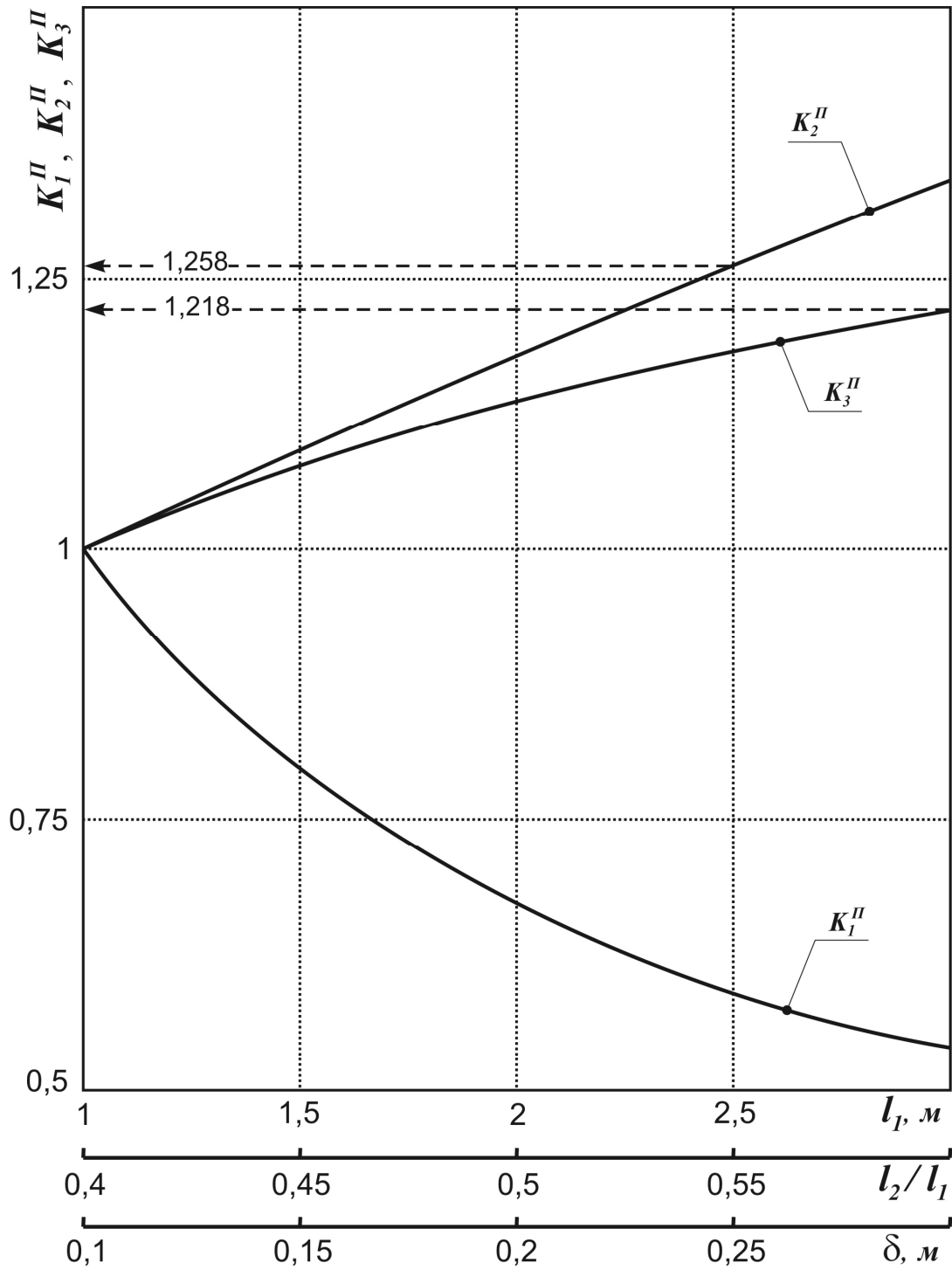


Рисунок 4.1 – Графики для определения коэффициентов влияния геометрических параметров полосы на максимум σ_{max}^{II} приведенных в ней напряжений

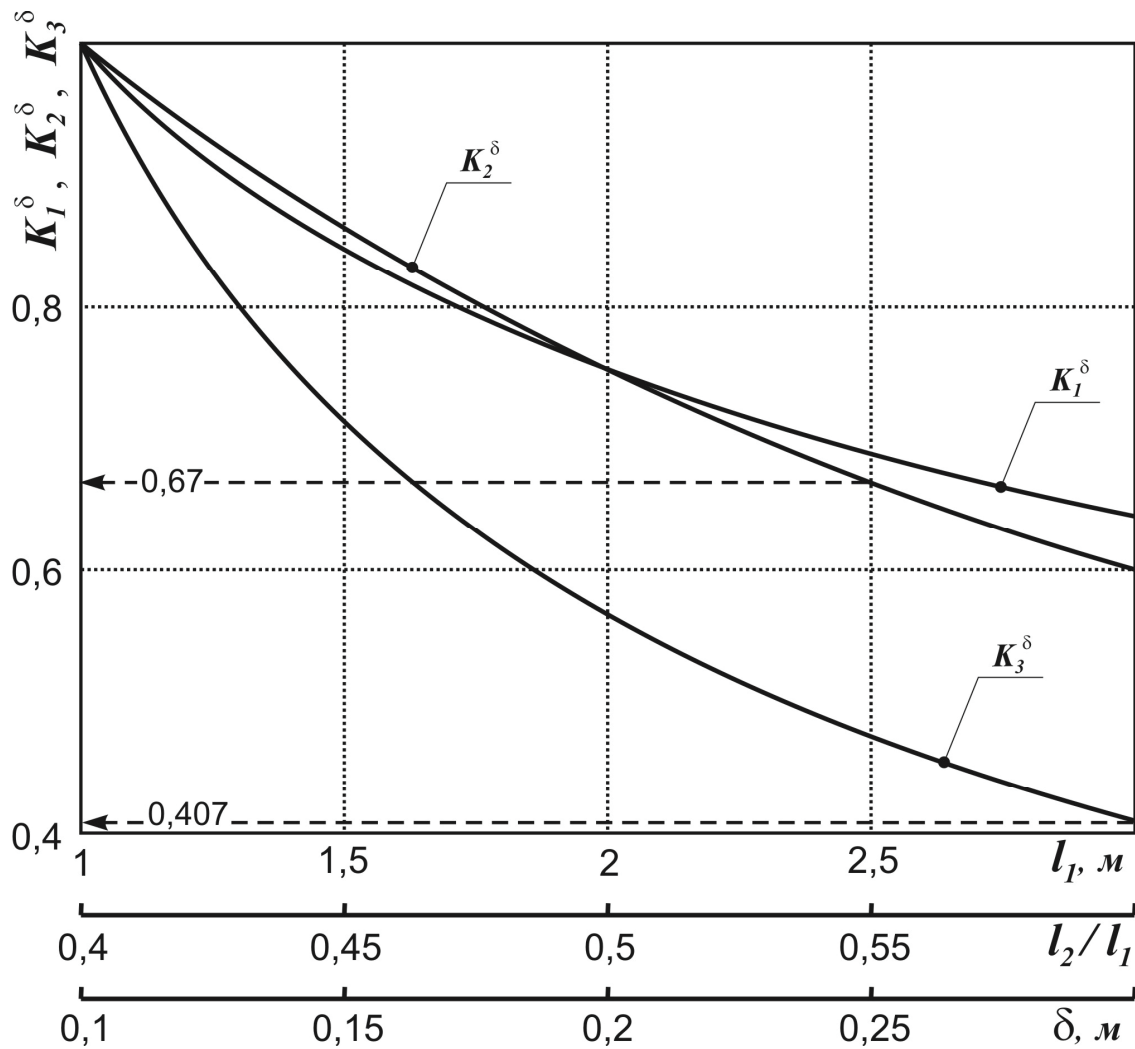


Рисунок 4.2 – Графики для определения коэффициентов влияния геометрических параметров литой полосы на максимум приведенных напряжений σ_{max}^δ в породах бермы

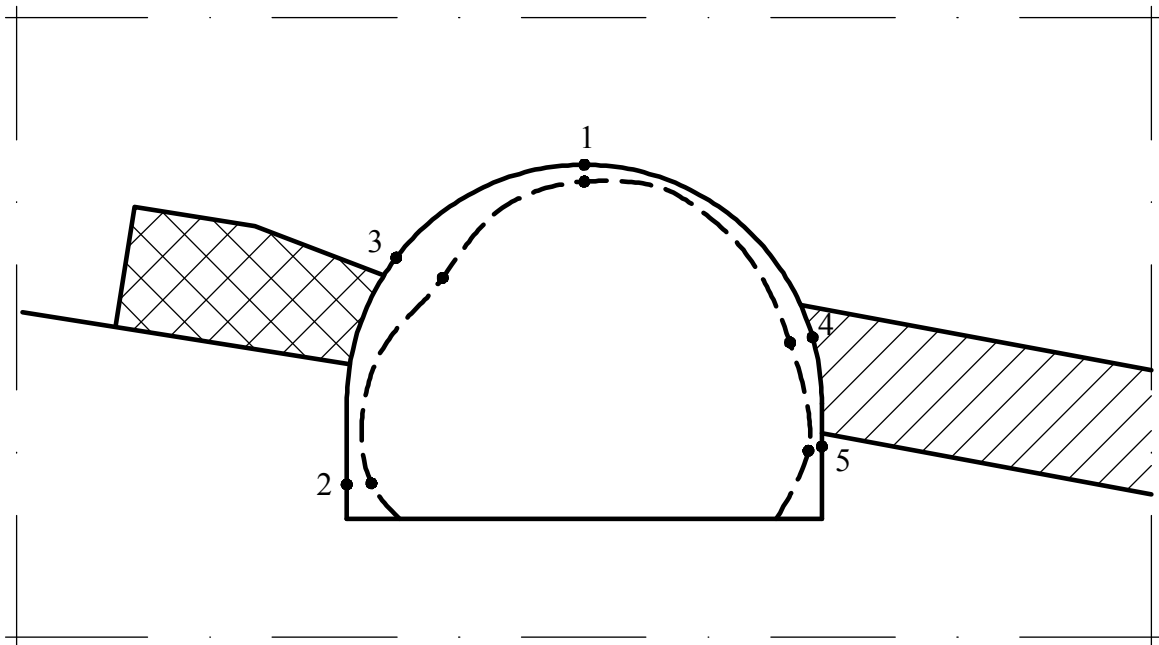


Рисунок 4.3 – Качественная схема деформирования рамной крепи с месторасположением действия максимумов σ_{max}^P приведенных напряжений

$\sigma_{max}^{p.2}$ – район опоры стойки рамы (со стороны выработанного пространства) на высоте 0,2...0,5 м от почвы выработки;

$\sigma_{max}^{p.3}$ – район замка соединения стойки и верхняка рамы (со стороны выработанного пространства) на высоте 2,0-2,2 м от почвы выработки, примыкающий к месторасположению разгрузочной полости в литой полосе;

$\sigma_{max}^{p.4}$ – район пяты свода (со стороны смежного выемочного участка) на высоте 1,2...1,4 м от почвы выработки;

$\sigma_{max}^{p.5}$ – район прямолинейной части стойки (граница почвы пласта со стороны смежного выемочного участка) на высоте 0,7-0,9 м от почвы выработки.

4.4.1 Максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.1}$ в замке свода рамной крепи определяется по формуле

$$\sigma_{max}^{p.1} = \sigma_u^{p.1} \cdot K_1^{p.1} \cdot K_2^{p.1} \cdot K_3^{p.1}, \quad (4.5)$$

где $\sigma_u^{p.1}$ – исходная (базовая) величина $\sigma_{max}^{p.1}$ при $l_1 = 1\text{ м}$, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1\text{ м}$; определяется по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_u^{p.1} = 0,063 & \left[37,05 - (3,47E_1^{o.k} + 0,14E_2^{o.k} + 0,58E_3^{o.k} + 1,3E_4^{o.k} + \right. \\ & \left. + 1,73E_1^{h.k} + 3,18E_2^{h.k}) \cdot 10^{-4} \right] \frac{H}{100} \cdot (0,1E_n^{ob} + 0,3E_{cp}^{ob} + 0,7E_6^{ob}) \times \\ & \times \frac{(0,2E_n^{ob} + E_{cp}^{ob} + 0,5E_6^{ob})^{0,5}}{(0,5E^{noch} + 0,8E_1^{h.k} + E_2^{h.k})^{0,12}} \left(0,4 + 0,21\sqrt{\frac{H}{100}} \right) \frac{1}{h}; \end{aligned} \quad (4.6)$$

$K_1^{p.1}$ – коэффициент, учитывающий влияние ширины l_1 литой полосы; определяется по графику на рис. 4.4;

$K_2^{p.1}$ – коэффициент, учитывающий влияние относительной ширины $\frac{l_2}{l_1}$ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.3;

$K_3^{p.1}$ – коэффициент, учитывающий влияние высоты δ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.4.

4.4.2 Максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.2}$ в районе опоры стойки рамы (со стороны выработанного пространства) определяется по формуле

$$\sigma_{max}^{p.2} = \sigma_u^{p.2} \cdot K_1^{p.2} \cdot K_2^{p.2} \cdot K_3^{p.2}, \quad (4.7)$$

где $\sigma_u^{p.2}$ – исходная (базовая) величина $\sigma_{max}^{p.2}$ при $l_1 = 1\text{ м}$, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1\text{ м}$; определяется по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_u^{p.2} = 2,77 & \left\{ \left[33,1 + (4,9E_2^{o.k} + 1,4E_3^{o.k} - 6,9E_1^{o.k}) \cdot 10^{-4} \right] (E^{noch})^{-0,21} \left(\frac{H}{100} \right)^{1,64} + \right. \\ & \left. + 1,45L^{0,2} \left[(0,1E_n^{ob} + 0,4E_{cp}^{ob} + 0,5E_6^{ob}) h \cdot \frac{H}{100} \right]^{0,5} \right\}; \end{aligned} \quad (4.8)$$

$K_1^{p.2}$ – коэффициент, учитывающий влияние ширины l_1 литой полосы; определяется по графику на рис. 4.5;

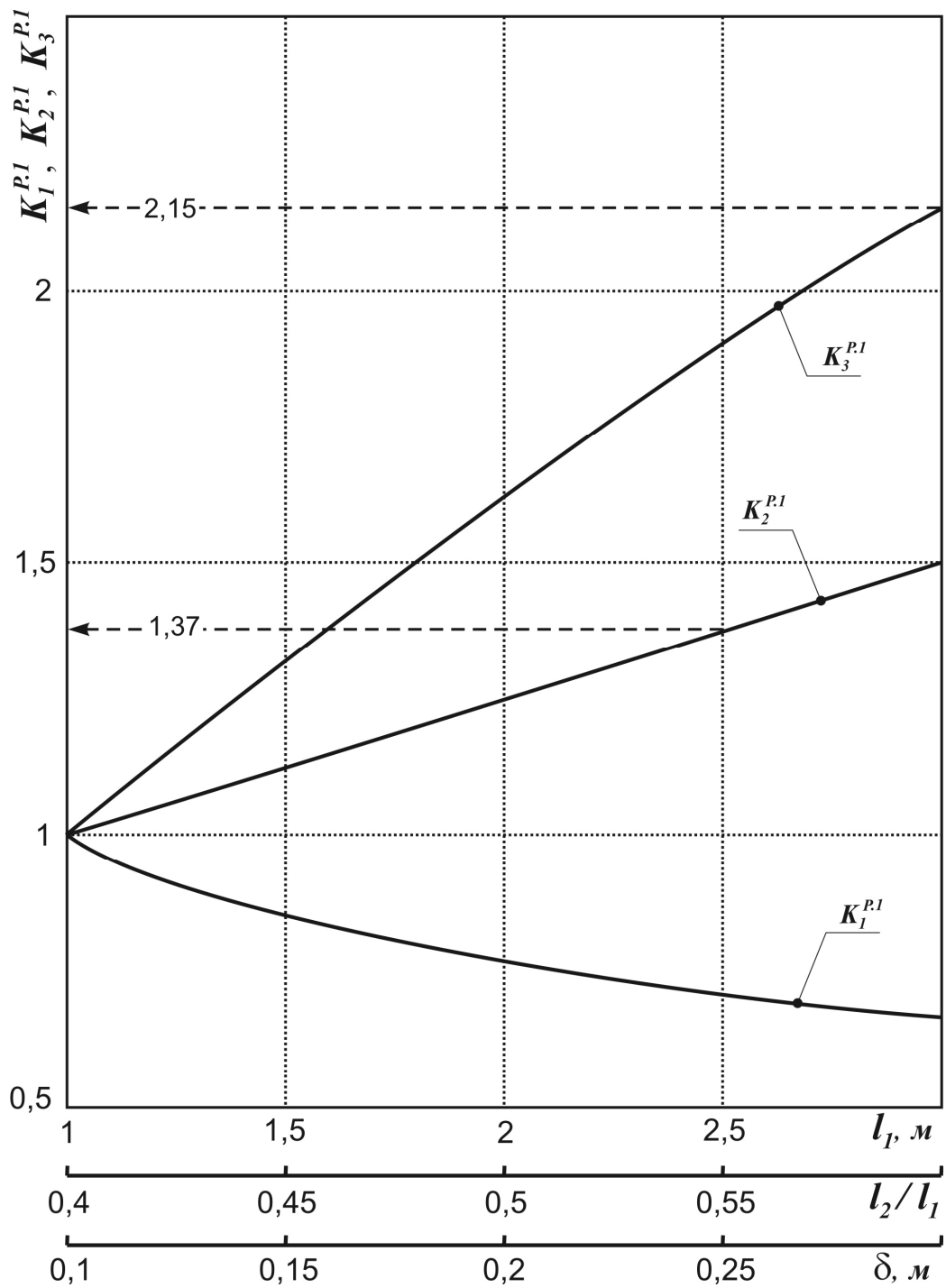


Рисунок 4.4 – Графики для определения коэффициентов влияния геометрических параметров литой полосы на максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{P.1}$ в замке свода рамной крепи

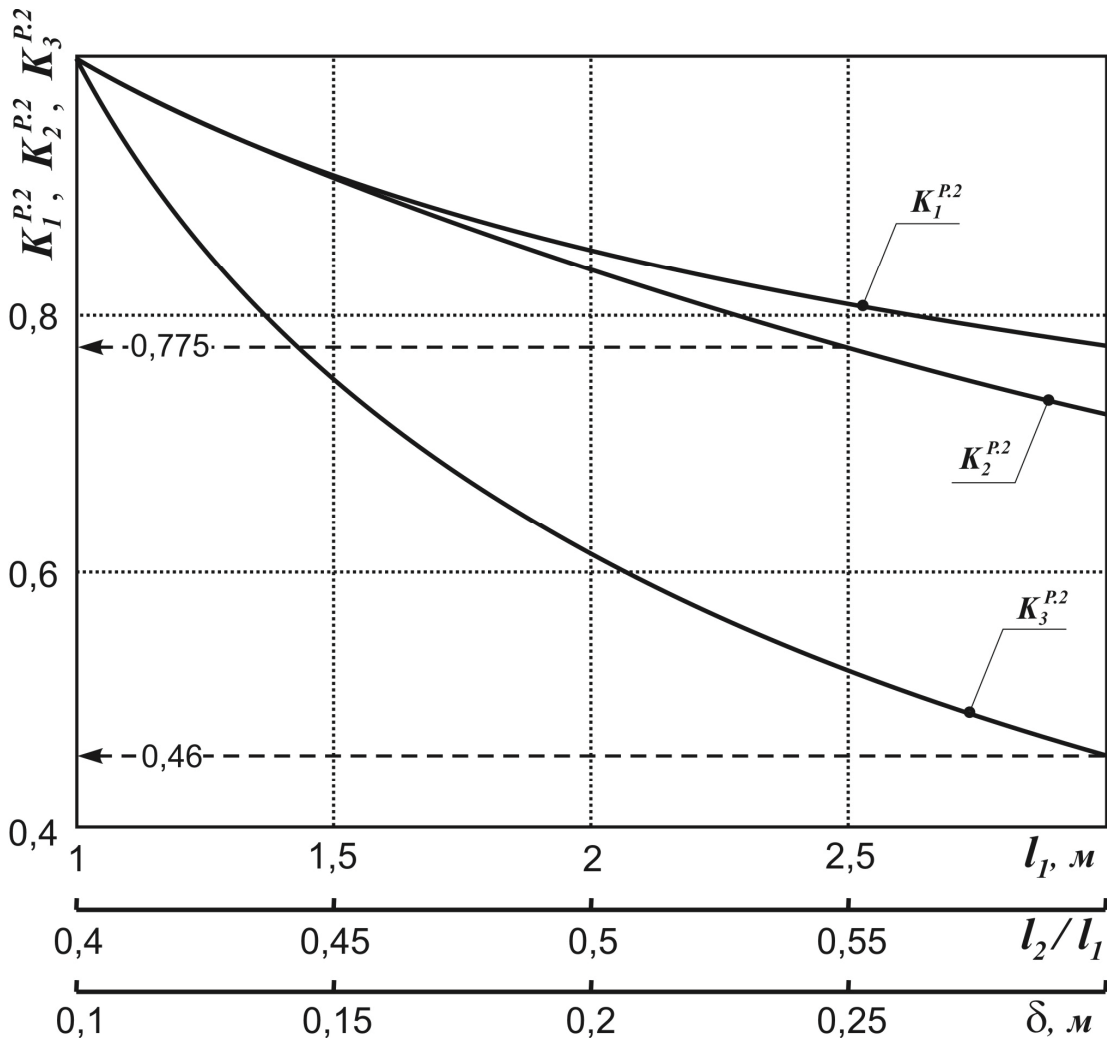


Рисунок 4.5 – Графики для определения коэффициентов влияния геометрических параметров литой полосы на максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.2}$ в районе опоры стойки рамы (со стороны выработанного пространства)

$K_1^{p.2}$ – коэффициент, учитывающий влияние относительной ширины $\frac{l_2}{l_1}$

разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.5;

$K_3^{p.2}$ – коэффициент, учитывающий влияние высоты δ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.5.

4.4.3 Максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.3}$ в районе замка соединения стойки и верхняка рамы (со стороны выработанного пространства) определяется по формуле

$$\sigma_{max}^{p.3} = \sigma_u^{p.3} \cdot K_1^{p.3} \cdot K_2^{p.3} \cdot K_3^{p.3}, \quad (4.9)$$

где $\sigma_u^{p.3}$ – исходная (базовая) величина $\sigma_{max}^{p.3}$ при $l_1 = 1$ м, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1$ м; определяется по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_u^{p.3} = & 0,814 \left(0,34 + 0,23 \sqrt{\frac{H}{100}} \right) \frac{L^{0,23}}{h} \left[42,1 - (3,18 E_1^{o.k} + \right. \\ & \left. + 1,35 E_2^{o.k} + 0,96 E_3^{o.k} + 3,52 E_1^{h.k} + 4,11 E_2^{h.k}) \cdot 10^{-4} \right] \frac{H}{100} \times \\ & \times \frac{0,6 E_n^{ob} + 0,5 E_{cp}^{ob} + 0,2 E_g^{ob}}{(E^{noch} + 0,7 E_1^{h.k} + 0,5 E_2^{h.k})^{0,15}}; \end{aligned} \quad (4.10)$$

$K_1^{p.3}$ – коэффициент, учитывающий влияние ширины l_1 литой полосы; определяется по графику на рис. 4.6;

$K_2^{p.3}$ – коэффициент, учитывающий влияние относительной ширины $\frac{l_2}{l_1}$

разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.6;

$K_3^{p.3}$ – коэффициент, учитывающий влияние высоты δ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.6.

4.4.4 Максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.4}$ в районе пяты свода рамы (со стороны смежного выемочного участка) определяется по формуле

$$\sigma_{max}^{p.4} = \sigma_u^{p.4} \cdot K_1^{p.4} \cdot K_2^{p.4} \cdot K_3^{p.4}, \quad (4.11)$$

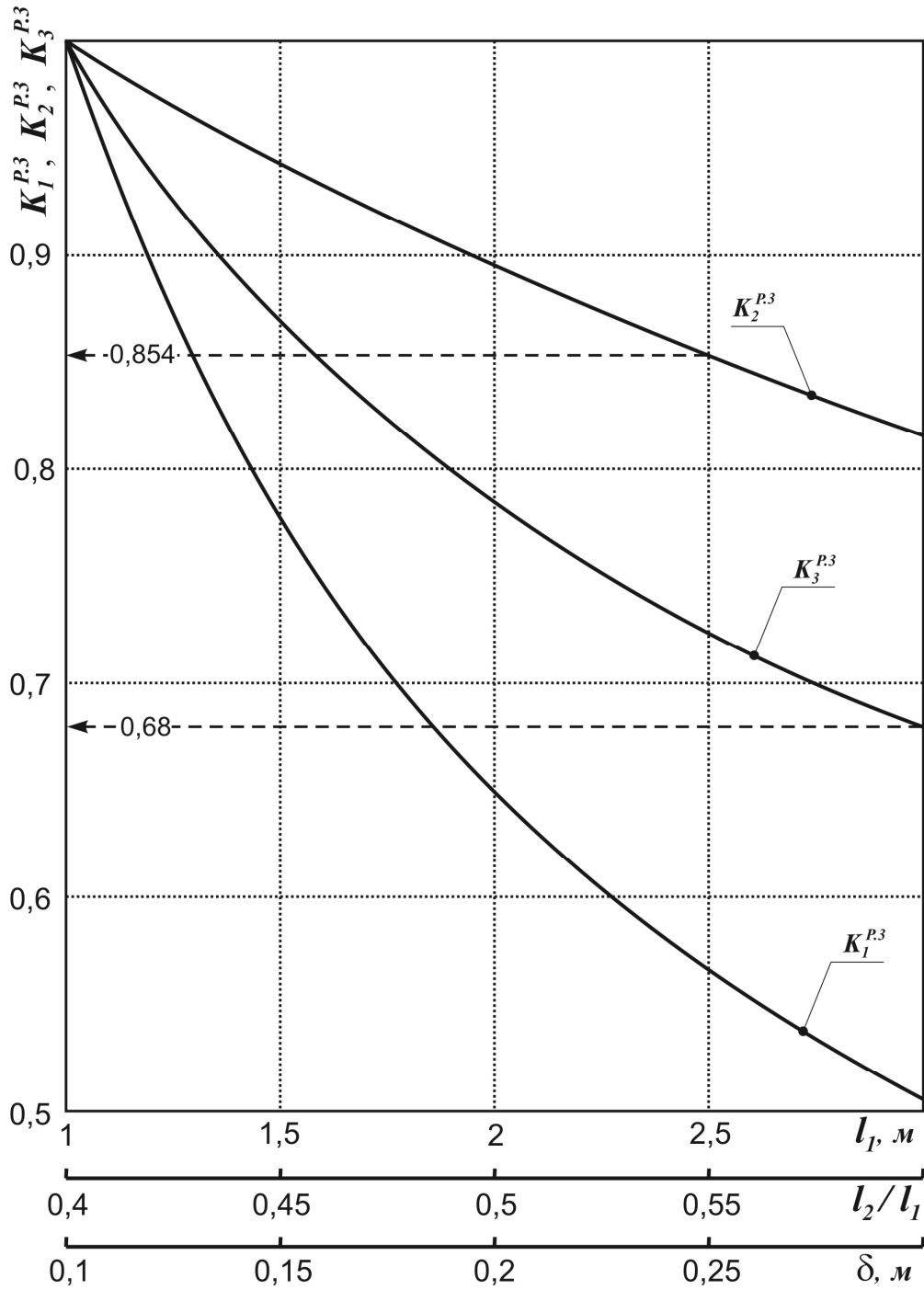


Рисунок 4.6 – Графики для определения коэффициентов влияния геометрических параметров литой полосы на максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.3}$ в районе замка соединения стойки и верхняка рамы (со стороны выработанного пространства)

где $\sigma_u^{p.4}$ – исходная (базовая) величина $\sigma_{max}^{p.4}$ при $l_1 = 1\text{ м}$, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1\text{ м}$; определяется по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_u^{p.4} = & 0,183 \left[25,3 - (2,34E_1^{o.k} + 1,75E_2^{o.k} + 1,21E_3^{o.k}) \cdot 10^{-4} \right] \frac{H}{100} \times \\ & \times \left(0,12 + 0,31 \sqrt{\frac{H}{100}} \right) \frac{(0,3E^{noch} + 0,6E_1^{h.k} + 0,4E_2^{h.k})^{0,16}}{h^{0,72} L^{0,31}} \times \\ & (0,2E_n^{ob} + 0,6E_{cp}^{ob} + 0,3E_6^{ob})^{0,8}; \end{aligned} \quad (4.12)$$

$K_1^{p.4}$ – коэффициент, учитывающий влияние ширины l_1 литой полосы; определяется по графику на рис. 4.7;

$K_2^{p.4}$ – коэффициент, учитывающий влияние относительной ширины $\frac{l_2}{l_1}$

разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.7;

$K_3^{p.4}$ – коэффициент, учитывающий влияние высоты δ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.7.

4.4.5 Максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.5}$ в районе прямолинейной части стойки рамы (со стороны смежного выемочного участка) определяется по формуле

$$\sigma_{max}^{p.5} = \sigma_u^{p.5} \cdot K_1^{p.5} \cdot K_2^{p.5} \cdot K_3^{p.5}, \quad (4.13)$$

где $\sigma_u^{p.5}$ – исходная (базовая) величина $\sigma_{max}^{p.5}$ при $l_1 = 1\text{ м}$, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1\text{ м}$; определяется по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_u^{p.5} = & 0,04 \left[21,5 - (2,07E_1^{o.k} + 1,51E_2^{o.k} + 1,12E_3^{o.k}) \cdot 10^{-4} \right] \frac{H}{100} \times \\ & \times \left(0,08 + 0,33 \sqrt{\frac{H}{100}} \right) (0,7E_n^{ob} + 0,4E_{cp}^{ob} + 0,2E_6^{ob}) \times \\ & \times \frac{(0,6E^{noch} + 0,7E_1^{h.k} + 0,2E_2^{h.k})^{0,22}}{h^{0,65} \cdot L^{0,42}}; \end{aligned} \quad (4.14)$$

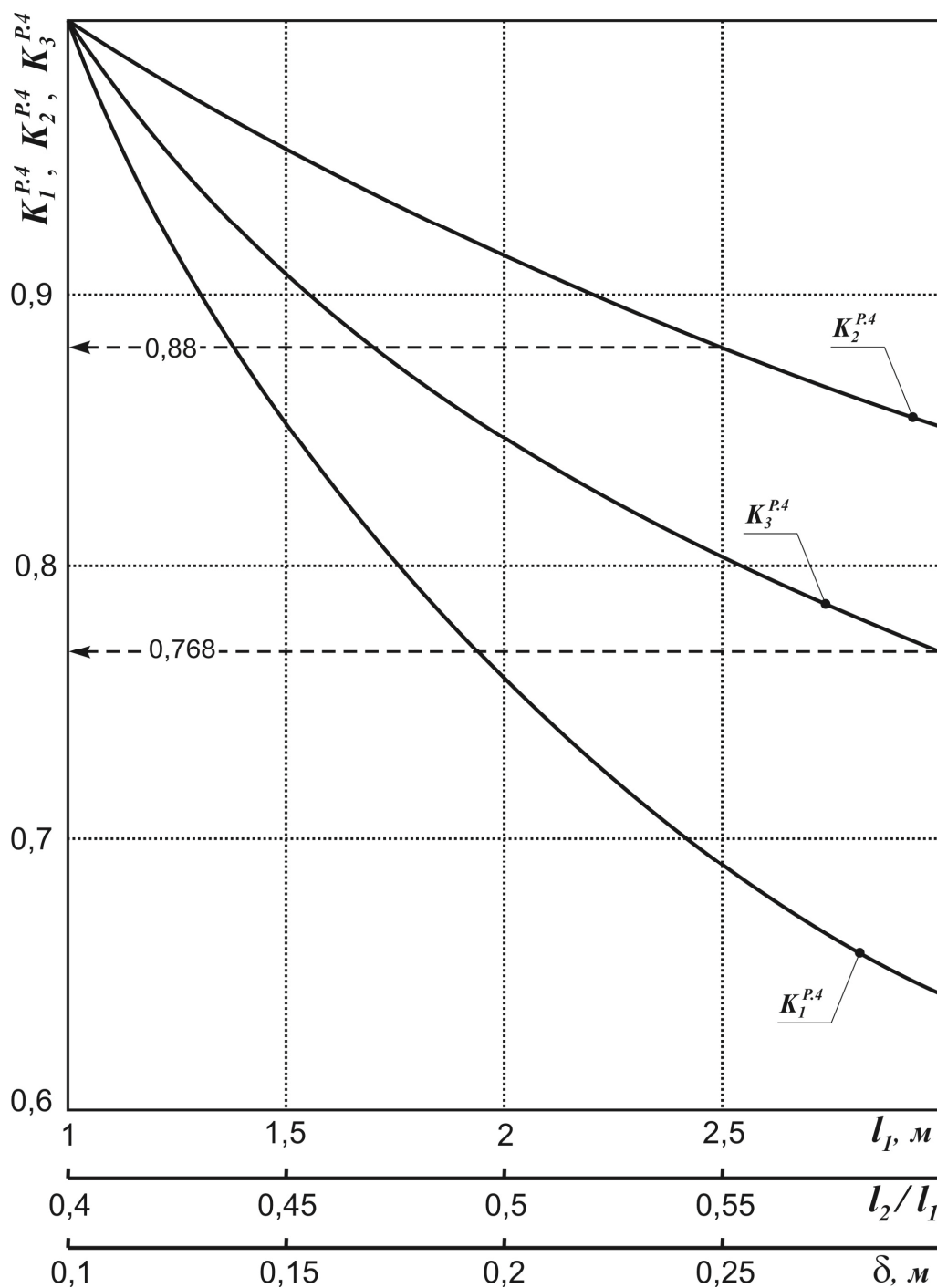


Рисунок 4.7 – Графики для определения коэффициентов влияния геометрических параметров литой полосы на максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.4}$ в районе пяты свода рамы (со стороны смежного выемочного участка)

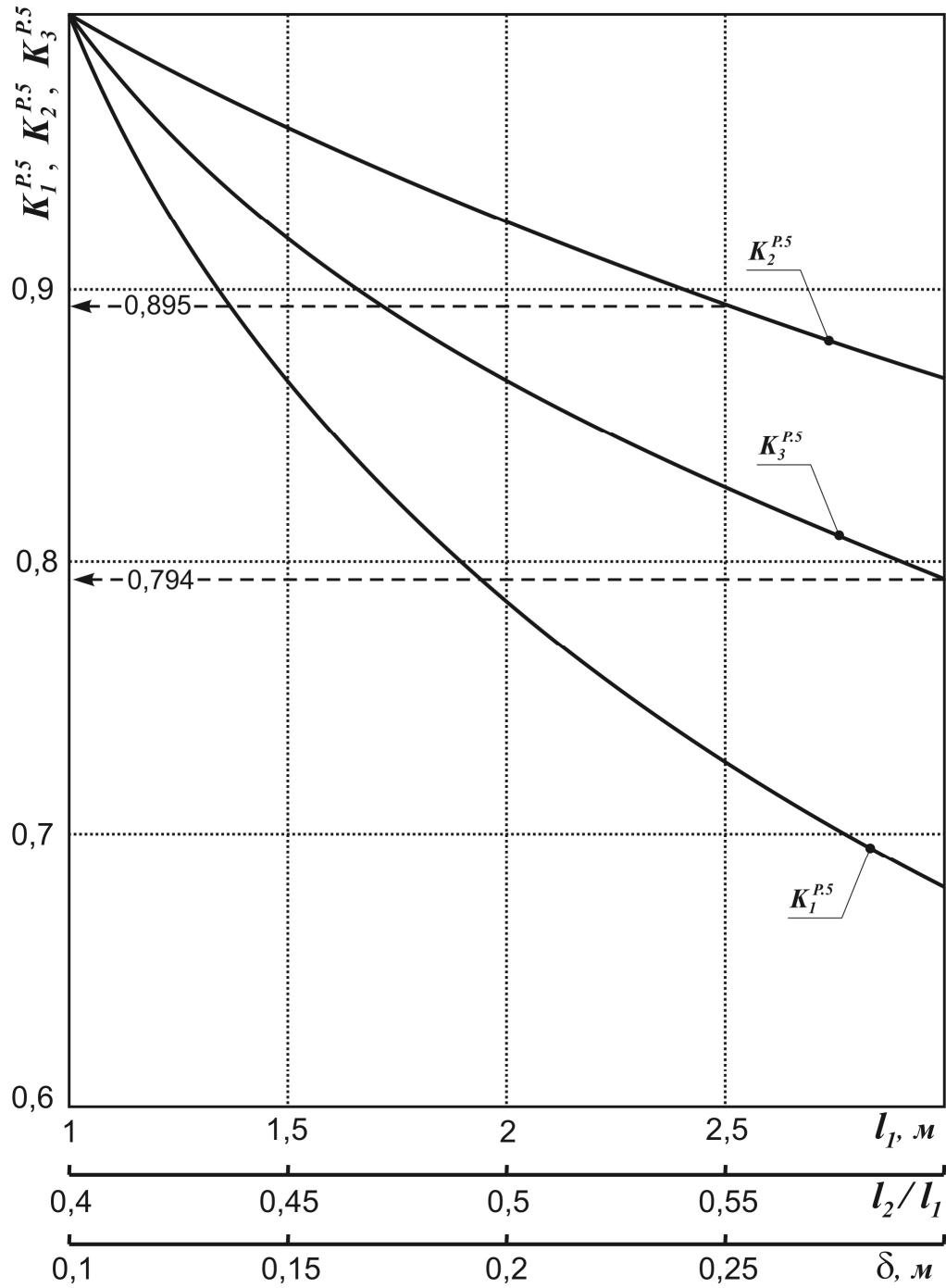


Рисунок 4.8 – Графики для определения коэффициентов влияния геометрических параметров литой полосы на максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{P.5}$ в районе прямолинейной части стойки рамы (со стороны смежного выемочного участка)

$K_1^{p.5}$ – коэффициент, учитывающий влияние ширины l_1 литой полосы; определяется по графику на рис. 4.8;

$K_2^{p.5}$ – коэффициент, учитывающий влияние относительной ширины $\frac{l_2}{l_1}$ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.8;

$K_3^{p.5}$ – коэффициент, учитывающий влияние высоты δ разгрузочной полости; определяется по графику на рис. 4.8.

5 АЛГОРИТМ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЛИТОЙ ПОЛОСЫ С РАЗГРУЗОЧНОЙ ПОЛОСТЬЮ

5.1 Базовые положения к выбору рациональных параметров литой полосы сформированы на основе комплекса многофакторных вычислительных экспериментов и результатов шахтных исследований устойчивости выемочных выработок, охраняемых полосами из твердеющих материалов.

5.1.1 Геомеханические факторы формируют НДС системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса» и выступают в качестве исходных параметров, а параметры литой полосы являются инструментом по управлению НДС системы в направлении повышения ее устойчивости.

5.1.2 Конструкция литой полосы с разгрузочной полостью обладает четырьмя регулируемыми параметрами:

- ширина l_1 литой полосы;
- относительная ширина $\frac{l_2}{l_1}$ разгрузочной полости;
- высота δ разгрузочной полости;
- сопротивление сжатию $\sigma_{сж}^{\Pi}$ материала литой полосы, сооружаемой из твердеющих смесей.

5.1.3 Управлению подвергаются семь параметров, определяющих устойчивость системы и требующих регулирования в направлении максимально возможного снижения их величины:

- σ_{max}^{Π} – максимум приведенных напряжений в литой полосе;
- σ_{max}^{δ} – максимум приведенных напряжений в породах бермы выемочной выработки под литой полосой;
- $\sigma_{max}^{p.1}$ – максимум приведенных напряжений в замке свода рамной крепи;
- $\sigma_{max}^{p.2}$ – максимум приведенных напряжений в районе опоры стойки рамной крепи со стороны выработанного пространства;
- $\sigma_{max}^{p.3}$ – максимум приведенных напряжений в районе замка рамы со сто-

роны выработанного пространства;

– $\sigma_{max}^{p.4}$ – максимум приведенных напряжений в районе пяты свода рамной крепи со стороны смежного выемочного участка:

– $\sigma_{max}^{p.5}$ – максимум приведенных напряжений в районе прямолинейной части стойки рамы со стороны смежного выемочного участка.

5.1.4 Осуществить полную оптимизацию семи параметров системы за счет регулирования четырех параметров литой полосы с разгрузочной полостью не представляется возможным. Поэтому выполнена частичная минимизация максимумов приведенных напряжений в основных элементах системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса» руководствуясь приоритетными факторами:

– минимизируются максимумы приведенных напряжений в элементах системы, в наибольшей степени обеспечивающих устойчивость выемочной выработки;

– осуществляется групповая минимизация тех максимумов приведенных напряжений, которые имеют однотипные качественные закономерности связи с параметрами литой полосы.

5.2 Критерии выбора рациональных параметров литой полосы сформулированы в соответствии с базовыми положениями по п. 5.1.

5.2.1 Потеря целостности литой полосы сопровождается увеличением ее податливости, обуславливающим интенсивное опускание породных слоев основной кровли и ростом нагрузки на рамную крепь, что может привести к потере устойчивости выемочной выработки. Условие целостности литой полосы

$$\sigma_{max}^{\Pi} \leq \sigma_{сж}^{\Pi} \quad (5.1)$$

5.2.2 Разрушение пород бермы выемочной выработки сопровождается резким увеличением податливости пары «литая полоса-порода бермы», что негативно сказывается на устойчивости выемочной выработки, по причинам, описанным в п. 5.2.1. Кроме того, при разрушении ближней к стойке рамы части пород бермы в ней образуются призмы сползания, формирующие высокую бо-

ковую нагрузку на стойку рамы, которая при деформировании в полость выработки приводит к потере ее устойчивости. Условие целостности пород бермы

$$\sigma_{max}^b \leq R^{noch}. \quad (5.2)$$

5.2.3 Заключительным основным фактором, определяющим устойчивость выемочной выработки, является напряженное состояние рамной крепи. Максимум приведенных напряжений $\sigma_{max}^{p.1}$ в замке свода рамы имеет закономерности связи с параметрами разгрузочной полости литой полосы, противоположные остальным максимумам $\sigma_{max}^{p.(i+1)}$. Поэтому вводятся два условия устойчивости рамной крепи

$$\sigma_{max}^{p.1} \leq \sigma_T; \quad (5.3)$$

$$\sigma_{max}^{p.(i+1)} \leq \sigma_T. \quad (5.4)$$

По критерию (5.4) снижается абсолютный максимум приведенных напряжений из четырех: $\sigma_{max}^{p.2}$, $\sigma_{max}^{p.3}$, $\sigma_{max}^{p.4}$ и $\sigma_{max}^{p.5}$. Если в процессе регулирования $\sigma_{max}^{p.(i+1)}$ минимизируемый максимум перестает быть наибольшим по величине, то внимание переносится на новый абсолютный максимум.

5.2.4 Установленные закономерности связи минимизируемых максимумов приведенных напряжений с регулируемыми параметрами литой полосы указывают на способность четырех критериев (5.1)-(5.4) осуществить частичную оптимизацию системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса».

5.3 Алгоритм расчета параметров литой полосы предполагает выполнение ряда последовательных вычислений, сравнение результатов с критериями (5.1)-(5.4) и при необходимости проведение дополнительных уточняющих расчетов.

5.3.1 Формируется пакет исходных геомеханических параметров в соответствии с горно-геологическими условиями отработки выемочного участка:

– максимальная по длине выемочного участка проектная глубина разме-

щения выработки H_{np} ; расчетная глубина H определяется по формуле (3.1);

– предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж1}^{o.k}$, $\sigma_{сж2}^{o.k}$, $\sigma_{сж3}^{o.k}$, $\sigma_{сж4}^{o.k}$ четырех близлежащих породных слоев основной кровли без учета маломощных прослоек – данные геологической службы шахты; при отсутствии некоторых сведений, они уточняются по справочнику: Каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой горно-геологических факторов и явлений. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1982. – 268 с.;

– условно-мгновенный модуль деформации четырех близлежащих породных слоев основной кровли $E_{y.m1}^{o.k}$, $E_{y.m2}^{o.k}$, $E_{y.m3}^{o.k}$, $E_{y.m4}^{o.k}$ (данные геологической службы шахты или справочника); расчетный модуль деформации породных слоев основной кровли $E_1^{o.k}$, $E_2^{o.k}$, $E_3^{o.k}$, $E_4^{o.k}$ определяется по формуле (3.5) с учетом (3.4);

– предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж1}^{н.к}$, $\sigma_{сж2}^{н.к}$ породных слоев непосредственной кровли без учета маломощных прослоек (данные геологической службы шахты или справочника); если непосредственная кровля представлена одним породным слоем, то принимается $\sigma_{сж1}^{н.к} = \sigma_{сж2}^{н.к}$; расчетное сопротивление сжатию $R_1^{н.к}$, $R_2^{н.к}$ породных слоев непосредственной кровли определяется по формуле (3.2) с учетом выражений (3.3) и (3.4);

– условно-мгновенный модуль деформации породных слоев непосредственной кровли $E_{y.m1}^{н.к}$, $E_{y.m2}^{н.к}$ (данные геологической службы шахты или справочника); если непосредственная кровля представлена одним породным слоем, то принимается $E_{y.m1}^{н.к} = E_{y.m2}^{н.к}$; расчетный модуль деформации породных слоев непосредственной кровли $E_1^{н.к}$, $E_2^{н.к}$ определяется по формуле (3.5) с учетом (3.4);

– предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}^{поч}$ непосредственной почвы без учета маломощных прослоек (данные геологической службы шахты или справочника); расчетное сопротивление сжатию $R^{поч}$ непосредственной почвы определяется по формуле (3.2) с учетом выражений (3.3) и (3.4);

– условно-мгновенный модуль деформации непосредственной почвы $E_{y.m}^{noch}$ (данные геологической службы шахты или справочника); расчетный модуль деформации непосредственной почвы E^{noch} определяется по формуле (3.5) с учетом (3.4);

– модули деформации E_n^{ob} , E_{cp}^{ob} , E_v^{ob} пород зоны беспорядочного обрушения в выработанном пространстве по нижней, средней и верхней частях этой зоны, при отсутствии сведений рекомендуется для шахтопластов Западного Донбасса и аналогичных условий принимать: $E_n^{ob} = 50$ МПа, $E_{cp}^{ob} = 35$ МПа, $E_v^{ob} = 20$ МПа;

– высота h зоны беспорядочного обрушения в выработанном пространстве определяется по формуле (3.6);

– ширина L области разупрочненных пород в окрестности штрека со стороны смежного выемочного участка определяется по формуле (3.7) с учетом (3.8).

5.3.2 Принимаются минимальные, с точки зрения общепринятых конструктивно-технологических факторов возведения охранных полос, геометрические параметры литой полосы с разгрузочной полостью: $l_1 = 1$ м, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1$ м. Для этих значений по формулам (4.1)-(4.14) рассчитываются максимумы приведенных напряжений в элементах системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса» и сравниваются с их соответствующими прочностными характеристиками пород бермы R^{noch} и материала рамной крепи σ_T по критериям (5.2)-(5.4). Если ни один из максимумов не превышает R^{noch} или σ_T , то по величине максимума $\sigma_{сж}^{II}$ подбирается состав твердеющей смеси, предел прочности на сжатие отвердевшего камня которой должен быть не менее σ_{max}^{II} по критерию (5.1). Компоненты сухой твердеющей смеси дозируются в соответствии с рекомендациями «Руководство по расчету параметров тампонажа закрепного пространства горных выработок. – Днепропетровск: НГА Ук-

раины, 1997. – 52 с.» в зависимости от применяемого типа вяжущего материала (см. п.5.4).

5.3.3 При невыполнении критерия (5.2) и выполнении критериев (5.3) и (5.4) для разгрузки приконтурной части пород бермы необходимо пошагово увеличивать параметры $\frac{l_2}{l_1}$ до значения 0,6 (шаг увеличения 0,05) и δ до значения 0,3 м (с шагом 0,05 м). Возрастание параметров $\frac{l_2}{l_1}$ и δ может быть раздельным или совместным; при каждом их изменении рассчитывается по формулам (4.3) и (4.4) новая величина максимума σ_{max}^{δ} и при удовлетворении критерию (5.2) увеличение $\frac{l_2}{l_1}$ и δ останавливается. Одновременно проверяется выполнение критерия (5.3) и при положительном результате определяется по формулам (4.1), (4.2) требуемая прочность на сжатие материала литой полосы, а по ее величине подбирается состав твердеющей смеси.

5.3.4 Если при реализации мероприятия по п. 5.3.3 устойчивость пород бермы по критерию (5.2) не выполняется или невозможно одновременно удовлетворить критериям (5.2)-(5.4), необходимо пошагово увеличивать ширину литой полосы l_1 (с шагом 0,1 м) до «технически разумной» величины $l_1 \leq 3$ м. То же следует выполнить, если значение σ_{max}^{Π} по формулам (4.1) и (4.2) будет превышать значение 20 МПа. Далее, при удовлетворении критериев (5.1)-(5.4), выполняются аналогичная операция по выбору состава твердеющей смеси.

5.3.5 При невыполнении критериев (5.4) и выполнении критериев (5.2) и (5.3) следует увеличивать параметры $\frac{l_2}{l_1}$ и δ по п. 5.3.3 с соответствующими расчетами и проверками; если положительный результат не достигается, то необходимо увеличивать параметр l_1 по п. 5.3.4.

5.3.6 В слабых породах почвы, если устойчивость пород бермы не достигается при максимальных значениях геометрических параметров литой полосы

($l_1 = 3$ м, $\frac{l_2}{l_1} = 0,6$, $\delta = 0,3$ м), следует применить анкерное упрочнение пород бермы в соответствии с рекомендациями КД 12.01.01.201-98.

5.3.7 При расчетном сопротивлении сжатию почвы $R^{noch} \geq 25...30$ МПа на глубинах до 800 м породы бермы, как правило, находятся в устойчивом состоянии и критерий (5.2) выполняется автоматически. В этих условиях основными являются критерии (5.3) и (5.4); если выполнение критериев не достигается, то следует увеличивать параметры l_1 , $\frac{l_2}{l_1}$ и δ в соответствии с п. 5.3.3 и п. 5.3.4.

5.3.8 Устойчивость литой полосы обеспечивается (по данным шахтных испытаний) при прочности на сжатие отвердевшей смеси $\sigma_{сж}^П$ до 15...20 МПа, что позволяет применить различные типы вяжущих материалов, в том числе, общестроительного назначения. При $\sigma_{max}^П > 20$ МПа необходимо применять более высокие марки портландцемента или разработанные для этих целей быстро твердеющие составы.

5.3.9 При невозможности одновременного ограничения максимумов $\sigma_{max}^{p.1} \dots \sigma_{max}^{p.5}$ приведенных напряжений в рамной крепи следует устанавливать систему анкеров (конструктивно связанных с рамой, то есть применить рамно-анкерную крепь, а при необходимости и в сочетании с опорно-анкерной) в районах действия указанных максимумов. Для слабых и частично разупрочненных пород в окрестности выемочных выработок наиболее приемлемой деформационно-силовой характеристикой обладают трубчатые анкера, развивающие высокую реакцию сопротивления при значительной величине податливости. Выбор параметров трубчатых анкеров рекомендуется осуществлять в соответствии с «Временное руководство по расчету параметров трубчатой анкерной крепи. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 46 с.».

5.3.10 Расчеты параметров рамно-анкерной крепи приведены в главе 8, а опорно-анкерной выполняется по [1, 3].

5.4 Выбор состава твердеющей смеси для возведения литой полосы осу-

ществляется на основе установленных в НГУ закономерностей связи рецептуры смеси с пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}^{\Pi}$ отвердевшего камня.

5.4.1 Твердеющая смесь для возведения литой полосы приготавливается на основе портландцементного, фосфогипсового, ангидритового или другого вяжущего с использованием в качестве заполнителя песка, гранотсева крупностью до 10 мм и других инертных материалов.

5.4.2 Выбор состава твердеющей смеси производится по величине $\sigma_{сж}^{\Pi}$ требуемого сопротивления сжатию, которая по критерию (5.1) должна быть не менее максимума σ_{max}^{Π} приведенных напряжений, а также водовяжущего отношения, зависящего от конструктивно-технологической схемы сооружения полосы и применяемого оборудования.

5.4.3 Водовяжущее отношение в значительной степени определяет прочность отвердевшего камня, и зависимость $\sigma_{сж}^{\Pi}$ от водовяжущего отношения имеет ярко выраженный максимум. По данным исследований НГУ максимальная прочность камня на основе фосфогипсового вяжущего достигается при водофосфогипсовом отношении $\frac{B}{\Phi} = 0,25...0,35$; для портландцементного вяжущего рациональное водоцементное отношение составляет $\frac{B}{Ц} = 0,35...0,45$.

Поэтому при выборе состава твердеющей смеси рекомендуется принимать водовяжущее отношение в указанных интервалах, что возможно осуществить при пневматическом способе подачи твердеющей смеси в полость механизированной крепи-опалубки. При гидромеханическом способе подачи твердеющей смеси водовяжущее отношение задается конструктивными особенностями применяемого оборудования по условию необходимой подвижности твердеющей смеси.

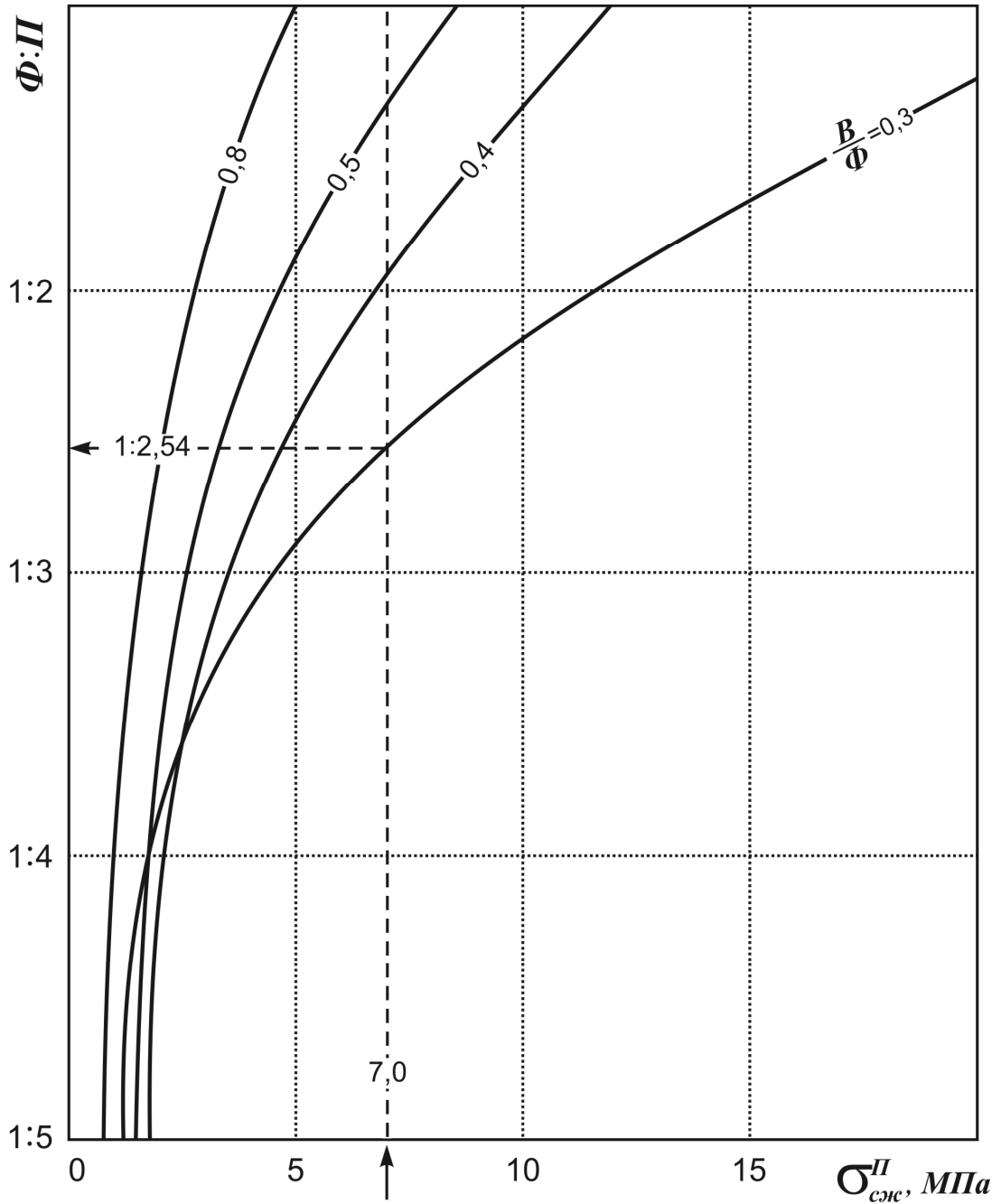


Рисунок 5.1 – Графики для выбора состава твердеющей смеси
на основе фосфогипсового вяжущего

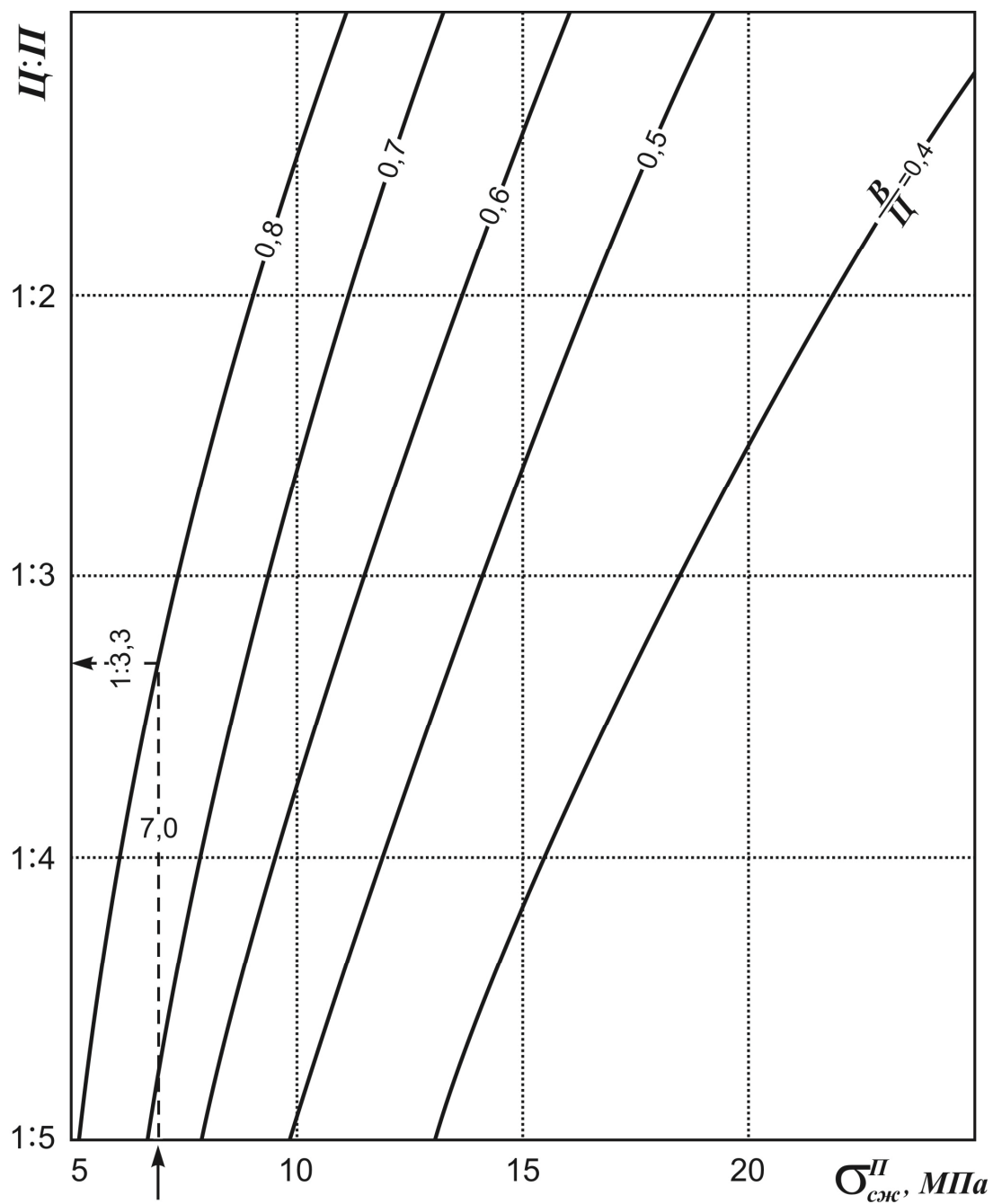


Рисунок 5.2 – Графики для выбора состава твердеющей смеси на основе портландцементного вяжущего

5.4.4 При использовании фосфогипсового вяжущего отношение фосфогипс: песок ($\Phi : П$) определяется по графикам на рис. 5.1, где исходными параметрами являются величины $\sigma_{сж}^П$ и $\frac{B}{\Phi}$. Фактическое отношение $\Phi : П$ должно быть не менее рассчитанной величины.

5.4.5 При использовании портландцементного вяжущего общестроительного назначения ПЦ II/Б-III-400 (по ДСТУ-Б-В.2.7-46-96) отношение портландцемент: песок ($Ц : П$) определяется по графикам на рис. 5.2.

5.4.6 При применении других марок портландцемента используются графики на рис. 5.2, где в качестве исходного параметра служит условное сопротивление сжатию $(\sigma_{сж}^П)_y$ отвердевшего камня, определяемое по формуле

$$(\sigma_{сж}^П)_y = \frac{400}{M_ц} \sigma_{сж}^П, \quad (5.5)$$

где $M_ц$ – активность вяжущего (марка портландцемента).

6 ПРИМЕР ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЛИТОЙ ПОЛОСЫ, УСИЛЕНИЯ РАМНОЙ КРЕПИ И УПРОЧНЕНИЯ БОКОВЫХ ПОРОД АНКЕРАМИ

6.1 Исходные данные

Максимальная проектная глубина расположения выемочной выработки $H_{np} = 400$ м.

Механические характеристики основной кровли:

– первый породный слой представлен глинистым сланцем с характеристиками $\sigma_{сж1}^{o.k} = 20$ МПа, $(E_{y.m}^{o.k})_1 = 0,6 \cdot 10^4$ МПа;

– второй породный слой представлен песчано-глинистым сланцем с характеристиками $\sigma_{сж2}^{o.k} = 30$ МПа, $(E_{y.m}^{o.k})_2 = 1,5 \cdot 10^4$ МПа;

– третий породный слой представлен песчаником с характеристиками $\sigma_{сж3}^{o.k} = 35$ МПа, $(E_{y.m}^{o.k})_3 = 2 \cdot 10^4$ МПа;

– четвертый породный слой представлен глинистым сланцем с характеристиками $\sigma_{сж4}^{o.k} = 25$ МПа, $(E_{y.m}^{o.k})_4 = 0,4 \cdot 10^4$ МПа.

Механические характеристики пород непосредственной кровли:

– первый породный слой мощностью $m_1^{h.k} = 2$ м представлен обводненным песчано-глинистым сланцем со средним расстоянием между поверхностями ослабления 0,5...1 м; $\sigma_{сж1}^{h.k} = 35$ МПа, $(E_{y.m}^{h.k})_1 = 1,2 \cdot 10^4$ МПа;

– второй породный слой мощностью $m_2^{h.k} = 3,5$ м представлен обводненным песчаником со средним расстоянием между поверхностями ослабления 1,0...1,5 м; $\sigma_{сж2}^{h.k} = 45$ МПа, $(E_{y.m}^{h.k})_2 = 2,2 \cdot 10^4$ МПа;

Полная мощность угольного пласта $m_y = 0,9$ м.

Непосредственная почва представлена обводненным песчано-глинистым сланцем со средним расстоянием между поверхностями ослабления 0,5...1 м; $\sigma_{сж}^{поч} = 40$ МПа; $E_{y.m}^{поч} = 1,8 \cdot 10^4$ МПа.

Модуль деформации пород зоны беспорядочного обрушения в вырабо-

танном пространстве: $E_n^{об} = 50$ МПа, $E_{ср}^{об} = 35$ МПа, $E_г^{об} = 20$ МПа.

Средневзвешенный по глубине H_{np} объемный вес пород $\gamma = 0,025 \frac{\text{МН}}{\text{м}^3}$.

Ширина выработки по почве в проходке $L_г = 4,669$ м (крепь КШПУ-11,7).

6.2 Определяем расчетные параметры системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса» для вычисления максимумов приведенных напряжений в ее элементах.

6.2.1 Расчетная глубина размещения выработки H определяется по формуле (3.1) при обычных условиях ($K = 1$) эксплуатации выемочного участка

$$H = 400 \cdot 1 = 400 \text{ м.}$$

6.2.2 Расчетный модуль деформации породных слоев основной кровли определяются по формулам (3.4) и (3.5).

Для первого породного слоя реологический параметр $\frac{x}{\beta}$ согласно (3.4) равен $\frac{x}{\beta} = 0,376$; тогда расчетный модуль деформации первого породного слоя по формуле (3.5) составляет

$$E_1^{o.k} = 0,6 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,376) = 0,374 \cdot 10^4 \text{ МПа.}$$

Аналогично определяем расчетный модуль деформации второго, третьего и четвертого породных слоев основной кровли:

$$E_2^{o.k} = 1,5 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,318) = 1,02 \cdot 10^4 \text{ МПа;}$$

$$E_3^{o.k} = 2 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,297) = 1,41 \cdot 10^4 \text{ МПа;}$$

$$E_4^{o.k} = 0,4 \cdot 10^4 (1 - 0,344) = 0,262 \cdot 10^4 \text{ МПа.}$$

6.2.3 Механические характеристики породных слоев непосредственной кровли определяются по формулам (3.2)-(3.5) и таблицам 3.1 и 3.2.

Для первого породного слоя ослабляющие коэффициенты составляют

$K_c = 0,6$; $K_w = 0,6$. Реологический параметр $\frac{x}{\beta} = 0,297$, при котором коэффициент $K_t = 0,84$ в соответствии с формулой (3.3). Тогда расчетное сопротивление сжатию равно

$$R_1^{h..k} = 35 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,84 = 10,6 \text{ МПа};$$

расчетный модуль деформации составляет

$$E_1^{h..k} = 1,2 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,297) = 0,844 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

Для второго породного слоя по аналогии с предыдущими вычислениями определяем расчетные механические характеристики:

$$R_2^{h..k} = 45 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 0,86 = 24,8 \text{ МПа};$$

$$E_2^{h..k} = 2,2 \cdot 10^4 \cdot (1 - 0,261) = 163 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

6.2.4 Расчетные механические характеристики пород непосредственной почвы составляют

$$R^{поч} = 40 \cdot 0,6 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 12,2 \text{ МПа};$$

$$E^{поч} = 1,8 \cdot 10^4 (1 - 0,278) = 1,30 \cdot 10^4 \text{ МПа}.$$

6.2.5 Высота зоны беспорядочного обрушения в выработанном пространстве определяется по формуле (3.6)

$$h = 2,0 + 3,5 + 0,4 \cdot 0,9 = 5,86 \text{ м}.$$

6.2.6 Ширина области разупрочненных пород со стороны смежного выемочного участка определяется по формулам (3.7) и (3.8):

$$R_{cp}^{h..k} = \frac{10,6 \cdot 2 + 24,8 \cdot 3,5}{2 + 3,5} = 19,6 \text{ МПа};$$

$$L = 4,669 \left(0,96 \frac{0,025 \cdot 400}{19,6} - 0,17 \right) = 1,49 \text{ м}.$$

6.3 Расчет исходных значений (при параметрах литой полосы по п. 5.3.2:

$l_1 = 1\text{ м}$, $\frac{l_2}{l_1} = 0,4$, $\delta = 0,1\text{ м}$) максимумов приведенных напряжений в элементах системы «породный массив-выемочная выработка-литая полоса» выполняется по формулам (4.2), (4.4), (4.6), (4.8), (4.10), (4.12), (4.14):

$$\sigma_u^{II} = 4,43 \text{ МПа};$$

$$\sigma_u^{\delta} = 41,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_u^{p.1} = 62,4 \text{ МПа};$$

$$\sigma_u^{p.2} = 251 \text{ МПа};$$

$$\sigma_u^{p.3} = 158,3 \text{ МПа};$$

$$\sigma_u^{p.4} = 221,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_u^{p.5} = 252,6 \text{ МПа}.$$

6.4 Проверяем выполнение критериев (5.2)-(5.4) устойчивости выемочной выработки:

$$\sigma_{max}^{\delta} = \sigma_u^{\delta} = 41,3 \text{ МПа} > R^{noch} = 12,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max}^{p.1} = \sigma_u^{p.1} = 62,4 \text{ МПа} < \sigma_T = 270 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max}^{p.(i+1)} = \sigma_u^{p.5} = 252,6 \text{ МПа} < \sigma_T = 270 \text{ МПа}.$$

Как видно из неравенств, ни один из максимумов приведенных напряжений в рамной крепи не превышает предела текучести стали Ст.5 (хотя максимум $\sigma_{max}^{p.5}$ уже составляет 93,6% от σ_T) и она находится в устойчивом состоянии.

Критерий устойчивости пород бермы штрека не выполняется; поэтому в соответствии с п. 5.3.3 увеличиваем относительную ширину $\frac{l_2}{l_1}$ и высоту δ грузочной полости литой полосы и по формулам (4.1), (4.3), (4.5), (4.7), (4.9), (4.11), (4.13) с учетом графиков на рис. 4.1-4.8 производим повторный расчет максимумов σ_{max}^{II} , σ_{max}^{δ} , $\sigma_{max}^{p.1}$, $\sigma_{max}^{p.(i+1)}$ при каждом шаге увеличения $\frac{l_2}{l_1}$ и δ . В

результате, при $\frac{l_2}{l_1} = 0,55$ (коэффициент $K_2^{\delta} = 0,67$ определяется на рис. 4.2) и $\delta = 0,3$ м (коэффициент $K_3^{\delta} = 0,407$ определяется на рис. 4.2) критерий (5.2) устойчивости пород бермы выполняется

$$\sigma_{max}^{\delta} = 41,3 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 0,407 = 11,3 \text{ МПа} < R^{noch} = 12,2 \text{ МПа}.$$

Таким образом, отсутствует необходимость увеличения общей ширины l_1 литой полосы. При измененных параметрах $\frac{l_2}{l_1}$, δ разгрузочной полости проверяем выполнение критериев (5.3), (5.4) устойчивости рамной крепи (коэффициенты $K_2^{p.1} = 1,37$, $K_3^{p.1} = 2,15$ определяются по графикам на рис. 4.4; коэффициенты $K_2^{p.2} = 0,775$, $K_3^{p.2} = 0,46$ определяются по графикам на рис. 4.5; коэффициенты $K_2^{p.3} = 0,854$, $K_3^{p.3} = 0,68$ определяются по графикам на рис. 4.6; коэффициенты $K_2^{p.4} = 0,88$, $K_3^{p.4} = 0,768$ определяются по графикам на рис. 4.7; коэффициенты $K_2^{p.5} = 0,895$, $K_3^{p.5} = 0,794$ определяются по графикам на рис. 4.8):

$$\sigma_{max}^{p.1} = 62,4 \cdot 1 \cdot 1,37 \cdot 2,15 = 183,8 \text{ МПа} < 270 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max}^{p.2} = 251 \cdot 1 \cdot 0,775 \cdot 0,46 = 89,5 \text{ МПа} < 270 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max}^{p.3} = 158,3 \cdot 1 \cdot 0,854 \cdot 0,68 = 91,9 \text{ МПа} < 270 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max}^{p.4} = 221,2 \cdot 1 \cdot 0,88 \cdot 0,768 = 149,5 \text{ МПа} < 270 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max}^{p.5} = 252,6 \cdot 1 \cdot 0,895 \cdot 0,794 = 179,5 \text{ МПа} < 270 \text{ МПа}.$$

Все критерии устойчивости рамной крепи выполняются; более того, частично выравниваются между собой максимумы $\sigma_{max}^{p.1}$, а абсолютный максимум снижен на 37,4% ($\sigma_{max}^{p.1} = 0,68\sigma_T$), что пропорционально повышает устойчивость выемочной выработки.

6.5 По формуле (4.1) вычисляем максимум σ_{max}^{Π} в литой полосе при параметрах разгрузочной полости $\frac{l_2}{l_1} = 0,55$, $\delta = 0,3$ м (коэффициенты $K_2^{\Pi} = 1,258$, $K_3^{\Pi} = 1,218$ определяются по графикам на рис. 4.1)

$$\sigma_{max}^{\Pi} = 4,43 \cdot 1 \cdot 1,258 \cdot 1,218 = 6,79 \text{ МПа.}$$

6.6 Подбираем состав твердеющей смеси для возведения литой полосы по критерию (5.1) с учетом графиков на рис. 5.1 и рис. 5.2. Для этого принимаем требуемую величину предела прочности на сжатие $\sigma_{сж}^{\Pi}$ отвердевшего камня по критерию (5.1) с некоторым запасом $\sigma_{сж}^{\Pi} = 7,0$ МПа.

$$\sigma_{сж}^{\Pi} \geq \sigma_{max}^{\Pi} = 7,0 \text{ МПа} > 6,79 \text{ МПа.}$$

6.6.1 При гидромеханическом способе подачи твердеющей смеси для возведения литой полосы ее технологическая подвижность обеспечивается при водвяжущем отношении $\frac{B}{\Phi} = \frac{B}{Ц} = 0,7...0,8$. С учетом этого ограничения определим соотношение компонентов сухой смеси:

– для фосфогипсового вяжущего вертикаль $\sigma_{сж}^{\Pi} = 7$ МПа на рис. 5.1 не пересекается с линией $\frac{B}{\Phi} = 0,8$, следовательно, при гидромеханическом способе подачи твердеющей смеси фосфогипсовое вяжущее не обеспечивает требуемой прочности на сжатие литой полосы;

– для портландцементного вяжущего (марки М400) вертикаль $\sigma_{сж}^{\Pi} = 7$ МПа на рис. 5.2 пересекается с линией $\frac{B}{\Phi} = 0,8$ на уровне $Ц : П = 1 : 3,3$, с некоторым запасом прочности следует дозировать компоненты сухой смеси в соотношении $Ц : П = 1 : 3$.

6.6.2 При пневматическом способе подачи твердеющей смеси (методом «сухого» торкретирования) в соответствии с п. 5.4.3 рекомендуется $\frac{B}{\Phi} = 0,3$;

$\frac{B}{Ц} = 0,4$. С учетом этого условия определяем соотношение компонентов сухой смеси:

– для фосфогипсового вяжущего вертикаль $\sigma_{сж}^П = 7$ МПа на рис. 5.1 пересекается с линией $\frac{B}{Ф} = 0,3$ на уровне $Ф : П = 1 : 2,54$, принимаем дозировку компонентов сухой смеси в соотношении $Ф : П = 1 : 2,5$;

– для портландцементного вяжущего (марки М400) вертикаль $\sigma_{сж}^П = 7$ МПа на рис. 5.2 не пересекается с линией $\frac{B}{Ц} = 0,4$. Это означает, что требуемая прочность отвердевшего камня достигается при соотношении $Ц : П$, меньшем, чем $1 : 5$, с некоторым запасом прочности принимаем $Ц : П = 1 : 5$.

6.7 Выбранные параметры литой полосы с разгрузочной полостью обеспечивают устойчивость выемочной выработки в данных горно-геологических условиях его эксплуатации.

7 КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ВОЗВЕДЕНИЯ ЛИТОЙ ПОЛОСЫ С РАЗГРУЗОЧНОЙ ПОЛОСТЬЮ

7.1 Требования к технологии возведения литой полосы

Комплексный анализ существующих технологических схем возведения охранных конструкций выемочных выработок из твердеющих материалов в сочетании со спецификой выемки весьма тонких и тонких пологих угольных пластов со сложными горно-геологическими условиями позволил разработать основные требования к технологии, которым она должна отвечать с точки зрения эффективности производства работ и их безопасности.

Технологическая схема должна:

1. Исключить возможность схватывания и твердения в трубопроводе (емкостях) затворенной смеси при непредвиденных (аварийных) остановках функционального оборудования;
2. Обеспечить ввод такого количества жидкости затворения в состав сухой смеси, которое не превышало бы ее гидратационной потребности или определенное расчетом;
3. Исключить необходимость тщательных промывок трубопровода и емкостей после каждого цикла приготовления и укладки твердеющих материалов, плановых или аварийных перерывах в этом процессе;
4. Обеспечить возможность изменения (регулирования) прочности отвердевшего камня по ширине литой полосы в процессе ее возведения;
5. Повысить прочность отвердевшего материала за счет технологического фактора – его уплотнения путем трамбовочного эффекта в процессе укладки;
6. Обеспечить однородность структуры отвердевшего камня и его свойств по всему объему возводимой литой полосы в соответствии с заданными параметрами;
7. Обеспечить возможность использования при возведении литой полосы заполнителя крупностью до 10 мм;
8. Обеспечить малое пылеобразование на всех стадиях технологического

процесса доставки, загрузки компонентов сухой смеси, ее затворения и укладки;

9. Обеспечить возможность корректировки водовяжущего отношения в процессе укладки твердеющей смеси;

10. Обеспечить подвижность твердеющей смеси и однородность ее состава при транспортировке, дозировании компонент и затворении;

11. Предусмотреть условия совмещения работ по возведению литой полосы с очистными работами на ограниченном пространстве сопряжения выемочной выработки с лавой;

12. Исключить обильное увлажнение вмещающих литую полосу горных пород, их набухание, раскисание, расслоение;

13. Обеспечить возможность транспортировки, затворения и укладки твердеющих материалов малыми объемами и прерывать процесс их укладки на любом отрезке времени без осложнений в производстве работ;

14. Совместить транспортировку компонентов твердеющей смеси, ее затворение, укладку и уплотнение в рамках единого процесса;

15. Время от начала затворения сухой смеси до окончания ее укладки не должно превышать времени начала схватывания твердеющего материала.

16. Предельно снизить уровень ручного труда.

7.2 Выбор способа возведения литой полосы

В настоящее время возведение различных охранных конструкций из твердеющих материалов в шахтных условиях осуществляется по трем основным технологическим схемам, в основе которых заложены принципиально различные способы приготовления, транспортировки и укладки твердеющих смесей, а следовательно, и разное оборудование: гидромеханический способ, способ «сухого» и способ «мокрого» торкретирования.

Гидромеханический способ приготовления и укладки твердеющих материалов состоит в том, что первоначально в открытом растворосмесителе приготавливается пульповидный твердеющий раствор на основе вяжущего и мелкого заполнителя с введением для придания раствору высокой подвижности избы-

точного количества жидкости затворения, существенно превышающее его гидратационную водопотребность. Затем пульповидный раствор закачивается растворонасосом во внутриопалубочное пространство, в котором наращивается по длине выемочной выработки литая полоса.

Способ «мокрого» торкретирования принципиально отличается от гидромеханического способа лишь тем, что предварительно приготовленный в герметично закрывающейся напорной емкости раствор через выдувной узел поступает в шланг, транспортируется по нему сжатым воздухом к месту ведения работ и наносится на торкретируемую поверхность с образованием торкретбетона, из которого таким образом возводится литая полоса.

Способ «сухого» торкретирования состоит в том, что из загруженной сухими компонентами твердеющего материала через выдувной узел герметично закрывающейся напорной емкости в трубопровод поступает в соответствующей пропорции вяжущего и мелкого заполнителя сухая смесь, которая сжатым воздухом транспортируется по трубопроводу через камеру затворения у сопла, где затворяется и при выходе из сопла наносится на торкретируемую поверхность возводимой литой полосы.

Каждый из рассмотренных основных способов возведения литой полосы из твердеющих материалов обладает определенными достоинствами и недостатками, анализ которых с учетом изложенных выше требований к технологии производства работ predetermined выбор способа возведения литой полосы в условиях высокопроизводительной выемки угольного пласта и основного оборудования – способ «сухого» торкретирования с помощью пневмобетономашин ПБМ-2.

7.3 Совершенствование конструктивно-технологической схемы возведения литой полосы с разгрузочной полостью

Совершенствование технологии возведения литой полосы, в основе которой положен способ «сухого» торкретирования с помощью серийно выпускаемой пневмобетономашин ПБМ-2, выполнено по следующим основным направлениям:

- повышение качества затворения сухой смеси путем обеспечения возможности ввода жидкости затворения в количестве, не превышающем гидротационной потребности твердеющей смеси;
- снижение запыленности рудничной атмосферы на всех стадиях технологического процесса, особенно на концевых операциях при загрузке пневмобетономашин ПБМ-2, затворении и укладке твердеющей смеси;
- уменьшение отскока твердой фазы торкретного потока от торкретируемой поверхности при наращивании литой полосы;
- снижение степени износа концевого участка трубопровода.

Усовершенствованная конструктивно-технологическая схема (рис. 7.1) возведения литой полосы из твердеющих материалов в выемочных выработках включает следующее основное и вспомогательное оборудование: воздухохраник (водомаслоотделитель) 1, пневмобетономашину 2; трубопровод 3, гибкий рукав 4, устройство для затворения вяжущего и пылеподавления 5, сопло 6, перфорированную насадку 7, устройство для приготовления и подачи жидкости затворения, пневмоэжекторное загрузочное устройство, а при отсутствии у проектируемого места установки машины ПБМ-2 шахтной сети сжатого воздуха – компрессорную установку типа ЗИФ-ШВ5.

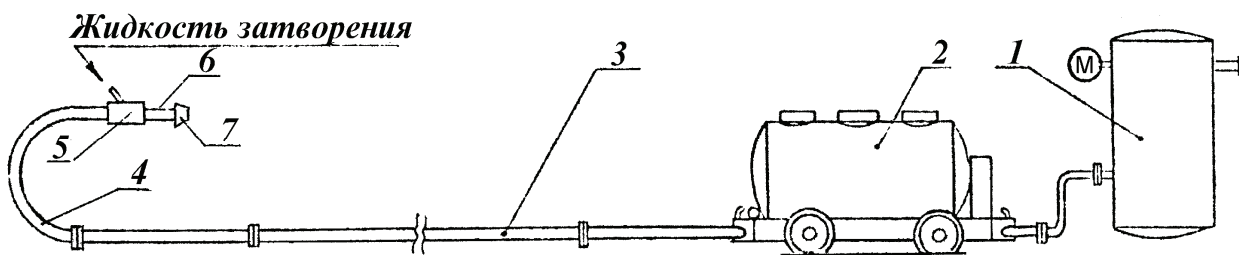


Рисунок 7.1 – Конструктивно-технологическая схема возведения литой полосы из твердеющих материалов способом «сухого» торкретирования: 1 – воздухохраник; 2 – пневмобетономашина ПБМ-2; 3 – трубопровод; 4 – гибкий резиноканевый рукав; 5 – устройство для затворения вяжущего и пылеподавления; 6 – сопло, 7 – перфорированная насадка

Пневмобетономашинa ПБМ-2 применяется для транспортировки и хранения сухой смеси, дозированной загрузки материального трубопровода 3 через выдувной узел как по соотношению компонент, так и по объему сухой смеси в целом, ее транспортировке по трубопроводу 3 до сопла 6 и нанесения затворенной смеси на торкретируемую поверхность во внутрипалубочном пространстве при возведении литой полосы.

При малом расходе твердеющих материалов машина ПБМ-2 может быть использована также и как транспортное средство для доставки сухой смеси от раздаточного бункера в шахте или на поверхности до места ее подключения к материальному трубопроводу 3, проложенному в охраняемой выемочной выработке.

Техническая характеристика машины ПБМ-2

Производительность, м ³ /ч		4 – 5
Максимальный размер фракций заполнителя, мм		до 10
Вместимость камеры, м ³		2
Дальность транспортирования, м		200
Давление сжатого воздуха в сети, МПа		0,5+0,1
Давление сжатого воздуха в камере, МПа		0,2-0,28
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин		10-12
Основные размеры:	длина, мм	3300
	ширина, мм	1270
	высота, мм	1680
Масса, кг		3100

Для пневмотранспортирования сухой смеси от места установки пневмобетономашины ПБМ-2 до конечного участка трубопровода используются трубы стальные бесшовные горячедеформированные двух – трехдюймовые. Длина трубопровода определяется из условия выбора места установки машины ПБМ-2 и максимального использования ее возможностей по дальности пневмотранспортирования сухой смеси. Концевой участок трубопровода длиной 10-15 м выполняется из гибкого резиноканевого рукава. Для подачи воды в камеру за-

творения и пылеподавления от шахтного водопровода или устройства для приготовления жидкости затворения используется гибкий рукав длиной до 50 м.

Устройство для приготовления и подачи жидкости затворения (рис. 7.2) применяется при необходимости качественного смешивания воды с химическими добавками ускорения схватывания и твердения.

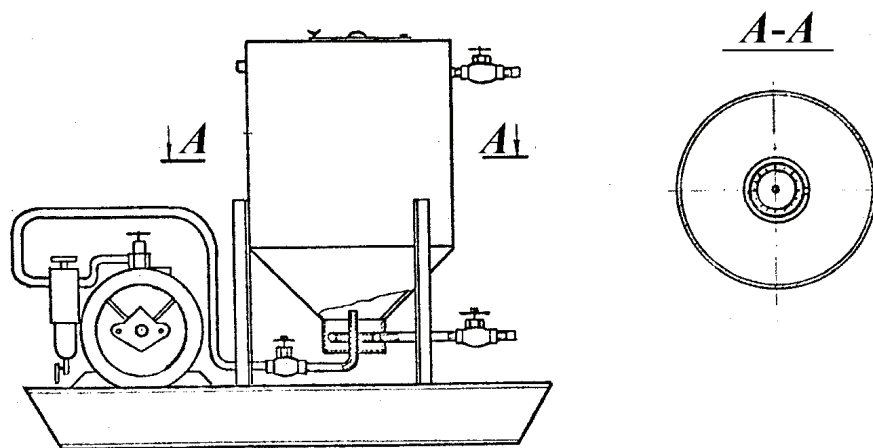


Рисунок 7.2 – Устройство для приготовления и подачи жидкости затворения

**Техническая характеристика устройства
для приготовления и подачи жидкости затворения**

Объем емкости, м ³	0,6
Производительность, л/мин	15
Насос, тип ОН-2	
Электродвигатель, тип ВАО41-4:	
мощность, кВт	4,0
число оборотов, об/мин	1450
Основные размеры:	
длина, мм	1750
ширина, мм	1050
высота, мм	1750
Масса, кг	635

Устройство для затворения вяжущего и обеспыливания воздуха (рис. 7.3) предназначено для введения в движущуюся в сопле аэрированную сухую торкретную смесь диспергированную до 50 мкм воду с регулированием ее количества в соответствии с проектным водовязущим отношением и эффективным пылеподавлением.

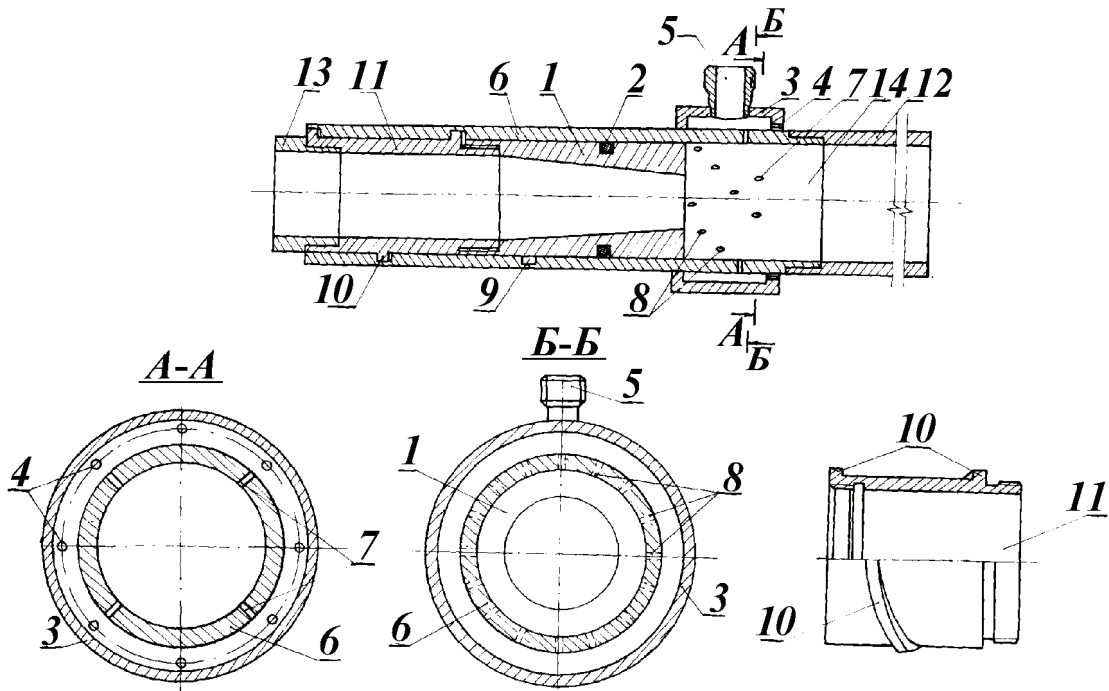


Рисунок 7.3 – Конструкция устройства для затворения вяжущего и пылеподавления: 1 – конфузор; 2 – сальник; 3 – камера пылегасителя; 4 – калиброванные отверстия; 5 – патрубок; 6 – подвижная обойма; 7 – основные Калиброванные отверстия; 8 – дополнительные Калиброванные отверстия; 9 – винтовая проточка; 10 – винтовой выступ; 11 – фиксатор; 12 – удлинитель; 13 – материальный трубопровод; 14 – камера затворения

Устройство для затворения вяжущего и обеспыливания воздуха содержит конфузорную часть 1 с кольцевой выточкой под сальник 2, камеру пылегасителя 3 с отверстиями 4, патрубок 5 для подвода воды, подвижную обойму 6, снабженную калиброванными основными 7 и дополнительными 8 отверстиями равного диаметра. Основные 7 отверстия расположены в одной плоскости равномерно по окружности подвижной обоймы 6, а дополнительные 8 – рядами

параллельно линии тангенциального перемещения обоймы 6.

Подвижная обойма 6 снабжена винтовой проточкой 9, в которой винтовым выступом 10 установлен с возможностью перемещения фиксатор 11. На подвижную обойму 6 со стороны калиброванных отверстий монтируется сопло 12, а другая сторона подвижной обоймы 6 через фиксатор 11 подключена к материальному трубопроводу 13.

Пространство в подвижной обойме 6 между соплом 12 и конфузорной насадкой 1 образует камеру 14 затворения.

Устройство работает следующим образом. При пуске пневмобетонной машины по материальному трубопроводу 13 торкретный поток поступает через фиксатор 11 и конфузорную часть 2 в камеру 14 затворения. Торкретный поток, проходя через конфузорную часть 1, сужается и затворяется водой, поступающей под давлением через патрубок 5 в камеру пылегасителя 3 и через калиброванные отверстия основные 7 и дополнительные 8 в камеру 14 затворения, а через отверстия 4 поступает наружу. Истекая из отверстий 4, 7 и 8 вода диспергируется до оптимальных размеров капель (50 мкм). При этом истекающая из отверстий 7 и 8 диспергированная вода пронизывает торкретный поток, выходящий из конфузорной части 1, затворяет его, а вода, истекающая из отверстий 4, создает кольцевую водяную рубашку, изолирующую от рудничной атмосферы выходящую из сопла 12 затворенную торкретную массу.

Поддержание постоянным водоцементного отношения в условиях меняющейся производительности пневмобетонной машины осуществляют поворотом подвижной обоймы 6 вокруг продольной оси устройства путем перемещения винтовой проточки 9 подвижной обоймы 6 по винтовому выступу 10 фиксатора 11. При этом подвижная обойма 6 продольно перемещается по фиксатору 11, открывая (закрывая) необходимое количество дополнительных отверстий 8 камеры 14 затворения, что обеспечивает увеличение (уменьшение) объема воды пропорционально изменению концентрации торкретного потока.

**Техническая характеристика устройства
для затворения вяжущего и пылеподавления**

Производительность, м ³ /ч	4-8
Рабочее давление воды в обойме, МПа	0,5-0,8
Расход воды (при рабочем давлении воды), м ³ /ч:	
при минимальном количестве включенных отверстий	0,1-0,4
при максимальном количестве включенных отверстий	0,5-0,7
Водовяжущее отношение при рабочем давлении воды	0,1-0,7
Степень диспергирования воды, мкм	50
Количество калиброванных отверстий, шт.	20
Диаметр отверстия, мм	1
Габаритные размеры, мм:	
с конфузорной насадкой	900x60
без насадки	400x60
Масса, кг:	
с конфузорной насадкой	5,2
без насадки	3,8

Перфорированная насадка (рис. 7.4) предназначена для разделения торкретного потока на газовую и твердую фазы с целью уменьшения отскока последнего от торкретируемой поверхности возводимой литой полосы.

Перфорированная насадка работает следующим образом. Торкретный поток при движении через конусную часть *1* насадки сужается, что обуславливает формирование в начале цилиндрической части воздушного зазора между ее внутренней поверхностью и торкретным потоком. Поскольку торкретный поток расположен эксцентрично с размещением основной его массы в нижней части насадки под действием силы тяжести, то максимальная величина воздушного

зазора на этом участке обеспечивается при любом изменении пространственного положения насадки автоматическим поворотом ее цилиндрической части 3 относительно конусной 1 под действием эксцентрично расположенного центра тяжести цилиндрической части, соединенной с конусной посредством болта-масленки 5, а также под действием реактивных сил, выходящих из продольных отверстий газобразной фазы.

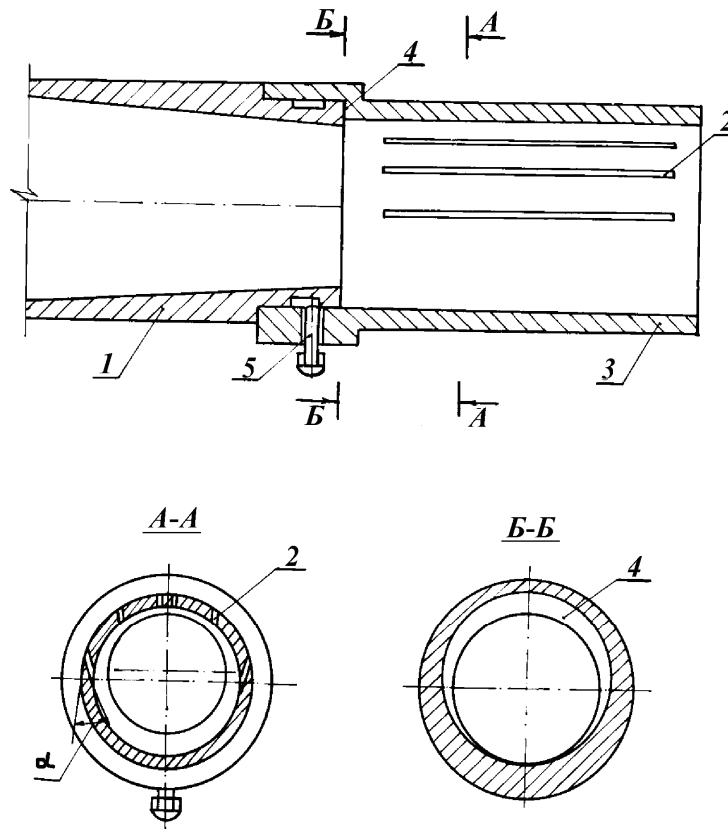


Рисунок 7.4 – Конструкция перфорированной насадки: 1 – конусная часть; 2 – продольные прорези; 3 – цилиндрическая часть; 4 – кольцевой уступ; 5 – болт-масленка

Наличие кольцевого воздушного зазора и автоматическое расположение его максимальной ширины у места движения основной массы торкретного потока (в нижней части при любом ее положении в пространстве) упрощает управление насадкой и повышает срок ее службы, а разделение на выходе торкретного потока на газовую и твердую фазы снижает степень отскока материала от торкретируемой поверхности литой полосы.

Техническая характеристика насадки

Высота кольцевого уступа, мм	7
Количество продольных прорезей, шт.	6
Углы наклона продольных прорезей к касательной поверхности насадки, град.	10, 50, 90
Расположение продольных прорезей в верхнем полуцилиндре симметричное относительно вертикальной плоскости, град.	90, 40, 0

Пневмоэжекторное загрузочное устройство предназначено для загрузки сыпучими компонентами различных герметичных емкостей, в том числе и пневмобетономашины ПБМ-2.

Конструкция пневмоэжекторного устройства и технология загрузки, например, пневмобетономашины ПБМ-2 представлена на рис. 7.5. Эжектор с кольцевым соплом 3, соединенный с герметичной емкостью 1 машины ПБМ-2 через патрубок, вделанный в крышку загрузочного люка, обеспечивает разрежение в емкости машины, передающееся через аналогичный патрубок соседнего люка на всасывающий рукав 8, второй конец которого вместе с заборной насадкой 9 внедрен в сыпучий материал транспортной емкости 2. Под действием разрежения сыпучий материал в виде пневмосмеси 12 поступает по всасывающему рукаву 8 в емкость машины ПБМ-2. Ввиду резкого увеличения поперечного сечения на входе в емкость машины ПБМ-2, скорость движения пневмосмеси падает и твердые частицы сыпучего материала осаждаются (выпадают из потока) и таким образом осуществляется загрузка емкости. Для качественного аэрирования сыпучего материала перед всасыванием, взамен традиционного наконечника с подсосом атмосферного воздуха разработана заборная насадка с форсунками для принудительной подачи сжатого воздуха в сыпучий материал через шланг поддува 10 с регулировкой его количества краном 7. Такое исполнение заборной насадки позволяет получать пневмосмесь с оптимальной для всасывания концентрацией твердых частиц, а также активно разрыхлять в

транспортной емкости верхние слои даже слежавшегося материала. Для полного заполнения емкости машины ПБМ-2, всасывающий рукав и эжектор переставляются на соседние крышки люков. Таким образом заполняются отдельно отсек с вяжущим и отсек с заполнителем.

Пыль, выделяемая в рудничную атмосферу вместе с эжектированным воздухом, гасится на выходе из эжектора высокого давления 3 пылеподавляющими водяными форсунками 4.

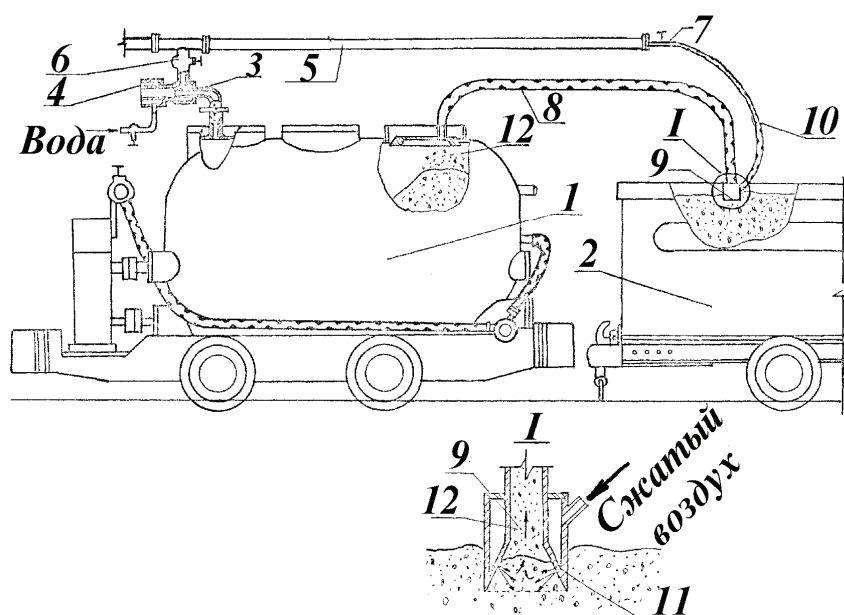


Рисунок 7.5 – Конструктивно-технологическая схема загрузки пневмобетономашины ПБМ-2 компонентами сухой смеси пневмоэжекторным устройством

Техническая характеристика пневмоэжекторного устройства

Производительность по загрузке, м ³ /ч	4-6
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4-0,6
Крупность транспортируемого материала, мм	до 10
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	7-13
Диаметр гибких рукавов	50

Передвижная опалубка для возведения литой полосы с разгрузочной полостью регулируемой конфигурации. Наиболее перспективным направлением при разработке средств механизации опалубочных работ для возведения литых полос наклонных и горизонтальных выемочных выработок является многофункциональное их использование, то есть данные устройства должны выполнять: функции непосредственной опалубки, обеспечивающей формирование охранной полосы заданных размеров и предотвращающей утечку твердеющего материала в выработанное пространство; защитные функции по предотвращению нарушения (деформирования) твердеющей смеси смещающимися породами кровли и почвы в период активного набора прочности; функции регулятора напряженного состояния литой полосы в период эксплуатации выемочного штрека путем создания в охранной полосе посредством опалубки соответствующих разгрузочных элементов; функции управления кровлей в выработанном пространстве лав, выступая в качестве обрезной крепи, размещенной на границе с возводимой охранной полосой и взаимодействующей с породами кровли и почвы в период наиболее интенсивной конвергенции, а также выполнять средства передвижных ограждающих щитов, особенно тех, которые расположены на границе с выработанным пространством.

Поэтому разработана новая многофункциональная конструктивно-технологическая опалубка, которая содержит жесткосоединенный с задним щитом 1 фронтальный щит 2, выполненный с возможностью раздвижки параллельно напластованию (по высоте) и включающий натяжитель по форме крепи штрека с концевыми направляющими, и расположенные под углом друг к другу барабаны 3 с воздухопроницаемым материалом, например со стеклотканью (рис. 7.6).

Передний щит 4 выполнен стационарным из воздухопроницаемого материала и формируется путем раскрутки бобин 3 и опирания на рамную крепь 5 штрека по мере движения опалубки. Механизм перемещения содержит жестко соединенные между собой по корпусам гидростойки 6 распора и гидроцилиндры 7 перемещения опалубки. Пылеподавляющую опалубку перед началом ра-

бот устанавливают за крепью лавы в выработанном пространстве на новом участке возведения охранной полосы 8, а подачу твердеющего материала осуществляют пневмобетономашиной по гибким рукавам 9. Кроме того, опалубка снабжена перекрытием 10, перемещение которого совместно с опалубкой при возведении литой полосы позволяет образовывать в последней разгрузочную полость заданной конфигурации со стороны охраняемой выработки.

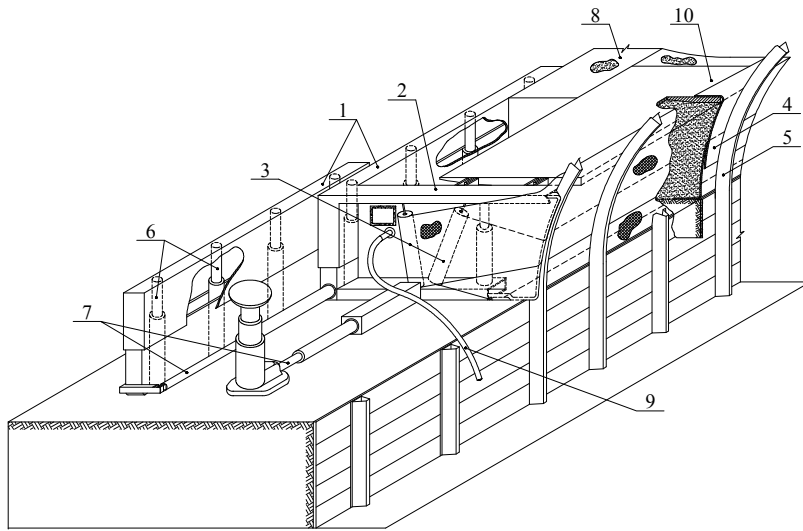


Рис. 7.6 – Общий вид многофункциональной опалубки

Передвижная опалубка работает следующим образом. По мере выемки угольного пласта опалубку с помощью гидроцилиндра 7 передвигают вслед за крепью лавы на новый участок для наращивания литой полосы 8, при этом раскручиваются барабаны 3 с воздухопроницаемым материалом и формируется передний стационарный щит 4. После окончания передвижения опалубки выдвигают натяжитель между двумя смежными рамами в полость штрека и производят распор заднего 1 и фронтального 2 щитов между кровлей и почвой пласта с помощью вмонтированных в них гидростоек 6, что обеспечивает плотное прилегание воздухопроницаемого материала к крепи штрека на стыках его полос, а также на стыках с кровлей и почвой. Подача твердеющего материала во внутриопалубочное пространство осуществляется, например, методом «сухого» торкретирования с помощью пневмобетономашины типа ПБМ-2 по гибким рукавам 9. При этом избыточный воздух из внутриопалубочного пространства, проходя че-

рез воздухопроницаемый материал переднего щита, очищается от пыли, а стенка возводимой полосы вплотную прилегает к рамной крепи выемочной выработки.

После заполнения опалубки быстродействующим материалом и достижения им разопалубочной прочности снимают распор в гидростойках 6, задвигают натяжитель в транспортное положение и с помощью гидроцилиндра 7 передвигают опалубку на новый участок. В такой последовательности цикл операций повторяется по возведению литой полосы вслед за очистным забоем лавы с формированием разгрузочной полости.

Герметизация внутриопалубочной полосы достигается тем, что:

- фронтальный щит выполнен с возможностью раздвижки параллельно напластованию за внутренний контур крепи штрека, что обеспечивает полное перекрытие торца опалубки со стороны очистного забоя и одновременно раскрутку бобин воздухопроницаемого материала, и его натяжение на очередном участке наращивания искусственного целика;

- фронтальный щит содержит расположенные под острым углом барабаны для воздухопроницаемого материала, что обеспечивает его укладку в переднем ограждающем щите внахлестку отдельных лент и создание отворотов на стыках с почвой и кровлей пласта;

- натяжитель выполнен по форме примыкающего участка крепи штрека и содержит концевые направляющие, что повышает плотность прилегания воздухопроницаемого материала между отдельными полосами с крепью штрека и породами почвы и кровли.

Эффективность пылеподавления повышается также тем, что на каждом очередном новом участке наращивания литой полосы ограждающий щит возводится из нового участка воздухопроницаемого материала, получаемого посредством его раскрутки из барабанов при перемещении опалубки, при этом отпадает надобность в периодической очистке материала от пыли и сокращаются трудозатраты на установку переднего ограждающего щита, поскольку этот процесс механизирован.

Создание условий для опирания крепи штрека на охранную полосу дости-

гается тем, что передний ограждающий щит выполнен стационарным и по форме контура примыкающего участка крепи штрека, вследствие чего по всей длине контура этого участка отсутствует зазор между крепью и возводимой литой полосой и крепь контактирует с боковой поверхностью полосы сразу же после ее возведения по всей длине выработки, благодаря чему крепь не изгибается и нагружается более равномерно по контуру и устойчивость выработки повышается.

Кроме того, снижаются материальные и трудовые затраты, так как на участке контакта литой полосы с крепью выработки отпадает надобность в установке межрамного ограждения в виде, например, железобетонных затяжек и забучивания каким-либо другим материалом.

Улучшаются также аэродинамические свойства крепи выработки вследствие покрытия примыкающей к штреку поверхности литой полосы материалом с меньшим значением коэффициента аэродинамического сопротивления, например, стеклопластиковым полотном.

Снижается уровень напряженного состояния приконтурных пород выемочного штрека за счет образования в литой полосе разгрузочной полости заданной конфигурации при перемещении перекрытия на новый участок, что повышает устойчивость выработки.

7.4 Организация работ и техника безопасности при возведении литой полосы

Работы по возведению литой полосы из твердеющих материалов входят в состав работ по очистной выемке угольного пласта и выполняются комплексной бригадой по добыче угля.

Для этой цели в бригаде выделяют двух рабочих, наделив их функцией оператора машины ПБМ-2 и сопловщика. В обязанности оператора входит загрузка сухой смеси в напорную емкость машины ПБМ-2, подготовка машины к пневмотранспортированию сухой смеси, управление машиной в процессе укладки твердеющей смеси. Обязанности сопловщика заключаются в приготовлении жидкости затворения, подготовке концевого участка трубопровода к

процессу нагнетания и в управлении соплом, камерой затворения и пылеподавления, перфорированной насадкой при укладке твердеющего материала. По командам сопловщика посредством двухсторонней селекторной связи оператор производит запуск и остановку пневмобетономашин ПБМ-2.

Перед началом возведения охранного литой полосы сопловщик и оператор передвигают опалубку на новый участок наращивания полосы, приводят в рабочее положение. Сопловщик заводит в отверстие фронтального щита сопло и, убедившись в отсутствии людей в районе возведения полосы, подает звуковой сигнал оператору на включение машины ПБМ-2. Оператор герметизирует машину, дает ответный сигнал и включает подачу сжатого воздуха в выдувной узел, осуществляет продувку пневмотрубопровода, а затем включает загрузочные шнеки машины.

Сопловщик включает подачу воды в сопло, регулирует качество затворения сухой смеси и пылеподавления путем ручного управления, направляет струю затворенного материала на торкретируемую поверхность возводимой полосы, последовательно наращивая ее ширину методом набрызга до проектной.

При работе машины ПБМ-2 оператор должен постоянно наблюдать за показаниями выходного манометра. Быстрое нарастание этих показаний указывает на образование пробки в трубопроводе, в этом случае машину нужно остановить в следующем порядке:

- выключить загрузочные шнеки;
- продуть систему подачи материала;
- отключить подачу воздуха в пневмотрубопровод;
- отключить подачу жидкости затворения;
- отключить подачу сжатого воздуха к машине.

При выборе места установки пневмобетономашин в горных выработках необходимо учитывать ее техническую характеристику и оборудования, придаваемого к ней, расстояние доставки материала от машины до места его укладки и т.д.

Технология работ по транспортированию сыпучего материала и возведе-

нию литой полосы должна удовлетворять требованиям «Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах». Все работы, связанные с приготовлением транспортируемого материала и добавок, должны производиться рабочими, прошедшими обучение и инструктаж по технике безопасности в соответствии с требованиями СНиПа «Техника безопасности в строительстве».

К работе на машине ПБМ-2 допускаются лица, изучившие «Инструкцию по эксплуатации машины ПБМ-2 для механизации крепления горных выработок» и прошедшие соответствующий инструктаж.

Все рабочие и лица технического надзора должны: пройти обязательный техминимум по безопасному ведению работ по приготовлению и нагнетанию растворов; по обслуживанию применяемых машин и механизмов; быть обеспечены индивидуальными средствами защиты установленного образца (каска, спецодежда, обувь, рукавицы, очки, противопыльные фильтры и т.д.)

Перед началом работ лицо технического надзора должно тщательно проверить место работы, состояние оборудования, правильность установки запорной арматуры и контрольно-измерительных приборов.

Все оборудование должно быть испытано под давлением, превышающим в 1,5 раза максимальное проектное давление нагнетания. Периодичность испытаний устанавливается один раз в шесть месяцев работы оборудования.

Все вращающиеся и трущиеся части механизмов должны иметь ограждения. При выключенном двигателе машины должна быть исключена всякая возможность самопроизвольного включения механизмов.

При укладке твердеющей смеси должно быть обеспечено непрерывное наблюдение за состоянием крепи выработки и опалубки, за показанием манометра и предохранительным клапаном. В случае обнаружения изменений в состоянии крепи и опалубки или их нарушения при нагнетании раствора работы прекращаются и возобновляются только после устранения замеченных нарушений.

Запорные краны необходимо закрывать медленно во избежание гидравлического удара, способного привести к аварии.

Закрепление шлангов должно быть прочным, чтобы срыв их от давления

и вибрации был невозможен.

На рабочих местах должны быть предусмотрены надписи и производственные инструкции по технике безопасности.

Металлические части машин и механизмов с электроприводом необходимо заземлять.

Пускать и останавливать пневмотранспортную систему можно только по принятому сигналу, известному всему обслуживающему персоналу.

Концы трубопровода должны быть прочно закреплены способом, исключая возможность их срыва при работе системы.

Для обеспечения нормальных условий труда необходимо следить за исправностью системы и давлением сжатого воздуха в сети, которое должно быть в пределах 5+1 атм.

Запрещается:

- производить любые работы, связанные с включением машины ПБМ-2 в отсутствие сопловщика или оператора;
- производить ремонт или подтяжку болтов и рукавов при включенной машине;
- эксплуатировать машину при давлении в сосуде свыше 2,8 атм. (по показанию манометра);
- работать на машине без сигнализации между сопловщиком и оператором;
- пользоваться шлангами, имеющими вздутие;
- работать на машине при неисправном манометре, поврежденных узлах крепления смесепровода;
- производить быстрое перекрытие кранов на коммуникациях системы (краны должны перекрываться плавно).

При образовании пробок в трубопроводе следует прекратить подачу сжатого воздуха, простучать трубопровод на участке предполагаемого засорения, после чего произвести продувку. Оператору не разрешается производить продувку без предупреждения сопловщика.

8 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

8.1 Расчет нагрузки на рамную крепь выемочной выработки

В общем случае на крепь действует нагрузка неравномерная и несимметричная относительно горизонтальной и вертикальной осей выемочной выработки. Изменение нагрузки по контуру выработки может быть плавным или дискретным, на отдельных участках контура рамной крепи нагрузка может отсутствовать.

На крепь действует вертикальная нагрузка q_{σ} , максимум которой смещен в сторону отрабатываемой части пласта (рис. 8.1). Со стороны нетронутого пласта угля действует боковая нагрузка q_{σ} от породного массива и $(q_{\sigma})_1$ от угольного пласта. Нагрузки q_{σ} и $(q_{\sigma})_1$ в общем случае неравны друг другу, так как уголь и вмещающие породы, как правило, имеют различные механические характеристики. Со стороны выработанного пространства в кровле пласта действует боковая нагрузка q_{σ} ; по мощности m вынимаемого пласта, то есть на участке рамы длиной m действует нагрузка $(q_{\sigma})_2$, а по высоте бермы выработки – нагрузка $(q_{\sigma})_3$.

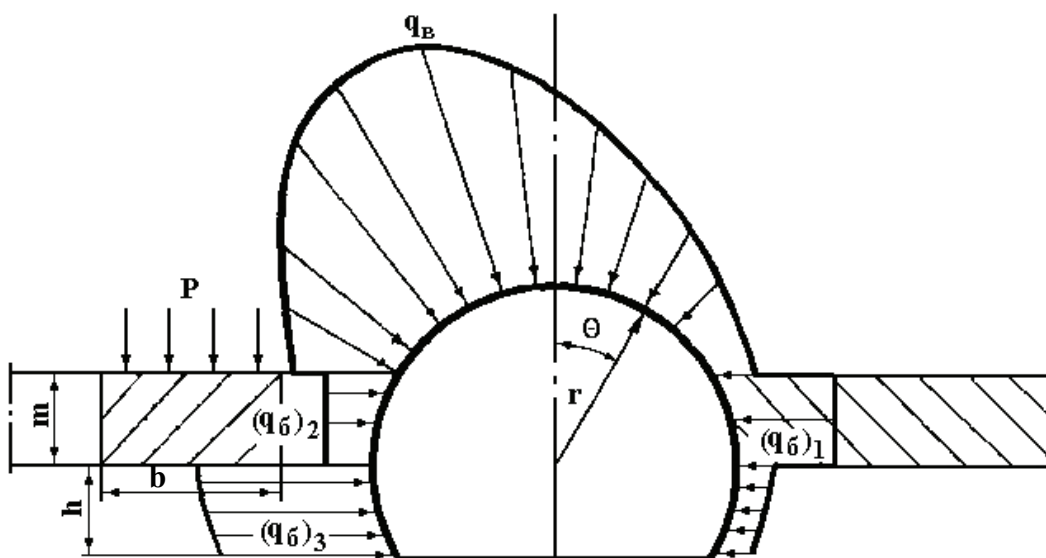


Рисунок 8.1 – Расчетная схема нагружения крепи выемочной выработки в зоне влияния очистных работ

Для упрощения вычислений вертикальной нагрузки q_g с учетом работ [10-12] построена номограмма (рис. 8.2), правило пользования которой показано на следующем примере: $H = 400$ м, $R = 30$ МПа, $T = 300$ суток, ширина выработки $L_g = 4$ м, способ охраны – литая полоса $m = 1$ м. Расчет ведется последовательно для всех трех характерных участков: начиная от проведения выработки, затем впереди очистных работ (в зоне опорного давления) и, позади, за фронтом очистных работ.

Нагрузка q_g на рамную крепь выработки вне зоны влияния очистных работ определяется в соответствии с ходом ключа (пунктирная линия). В квадранте I от шкалы $H = 400$ м восстанавливаем перпендикуляр до линии $R = 30$ МПа, от полученной точки проводим горизонталь до левой границы квадранта и отмечаем полученную точку. В квадранте II из отметки $H = 400$ м опускаем вертикаль до линии $R = 30$ МПа, откуда проводим горизонталь до правой границы квадранта II. Соединяем полученные точки прямой и на центральной шкале квадранта I определяем значение параметра, равное 1,3. Далее из отметки $H = 400$ м в квадранте III проводим горизонталь до пересечения с линией $R = 30$ МПа, откуда опускаем вертикаль в квадрант IV до пересечения с прямой, соответствующей параметру 1,3. Из точки пересечения проводим горизонталь до пересечения с левой границей квадранта IV. От данной точки проводим в квадранте IV линию по углом 45° . Затем в квадранте V проводим горизонталь из квадранта II до пересечения с линией $T = 300$ суток, откуда восстанавливаем вертикаль в квадрант IV до пересечения с наклонной прямой. Горизонталь из точки пересечения указывает на левой шкале квадранта IV величину прогнозируемых вертикальных смещений, равную 650 мм. Отмечаем данное смещение 650 мм на правой шкале квадранта IV и проводим горизонталь до линии $L_g = 4$ м, из точки пересечения опускаем вертикаль и на горизонтальной шкале квадранта VI читаем ответ: вертикальная нагрузка вне зоны влияния очистных работ составляет $q_g = 117$ кПа.

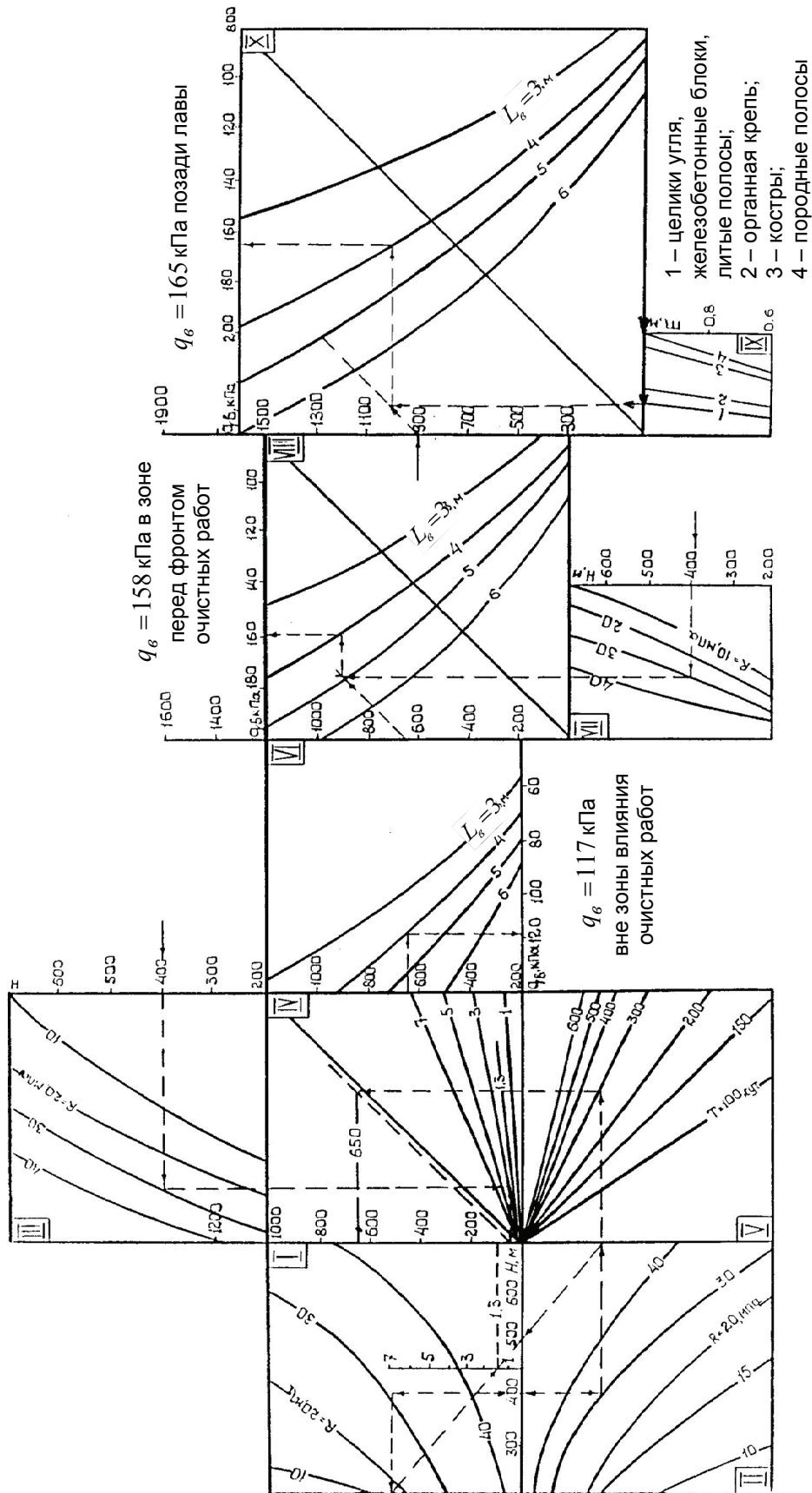


Рисунок 8.2 — Номограмма для определения вертикальной нагрузки на рамную крепь подготовительной выработки

Нагрузка q_e в зоне опорного давления (впереди лавы) определяется по смещениям породного контура, величина которых складывается из ранее определенных смещений 650 мм (вне зоны влияния очистных работ) и дополнительных, которые развиваются в зоне опорного давления. Следовательно, первая часть смещений определяется по квадрантам I-VI. Дополнительные смещения и, соответственно, нагрузка определяется по квадрантам VII-VIII. От отметки $H = 400$ м в квадранте VII проводим горизонталь до линии $R = 30$ МПа из точки пересечения восстанавливаем перпендикуляр в квадрант VIII. На правой шкале квадранта VI из отметки 650 мм проводим линию под углом 45° до пересечения с перпендикуляром из квадранта VII; из этой точки проводим горизонталь до линии $L_e = 4$ м, откуда восстанавливаем перпендикуляр до горизонтальной шкалы квадранта VIII, где и читаем ответ $q_e = 158$ кПа. Таким образом, влияние очистных работ выразилось в том, что вертикальная нагрузка увеличилась на 41 кПа.

При определении нагрузки позади лавы рассчитывается суммарная величина смещений. Дополнительные смещения определяются в квадранте IX. Так при мощности пласта $m = 1$ м и способе охраны литой полосой (линия 1) дополнительные смещения составят 110 мм. Предыдущие смещения определяются на левой шкале квадранта VIII и переносятся на правую шкалу квадранта VIII, откуда проводится диагональ в квадранте X, при встрече которой с вертикалью из квадранта IX определяем точку пересечения в квадранте X. Из этой точки проводим горизонталь до пересечения с линией $L_e = 4$ м, откуда восстанавливается перпендикуляр на горизонтальную шкалу квадранта X и читаем результат $q_e = 165$ кПа.

Таким образом, разработанная обобщенная номограмма позволяет оперативно определить вертикальную нагрузку на крепь как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ.

Поскольку порода вокруг выработки, особенно в зоне влияния очистных работ, находится в нарушенном состоянии, то на наш взгляд, достаточно пра-

вомерно применять уравнения статики сыпучей среды, и, в частности, для определения боковой нагрузки на крепь по данным работы [13]

$$q_{\sigma} = q_{\sigma} \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2}, \quad (8.1)$$

где φ – угол внутреннего трения боковых пород, примыкающих по высоте рамы угольного пласта и материала литой полосы.

Боковая нагрузка $(q_{\sigma})_3$ определяется шириной литой полосы b и величиной нагрузки P по формуле

$$(q_{\sigma})_3 = \frac{P}{l_1} \operatorname{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2}. \quad (8.2)$$

Нагрузка P на охранный элемент и его ширина l_1 определяются по методике [14]

$$P = \frac{8m_{н.к}(L_{\sigma} + 2,5)(L_{\sigma} + 0,4m_{н.к} + 2,5)}{2L_{\sigma} - m + 5} + \frac{\gamma_o(10m - m_{н.к})(l_o + 0,4m_{н.к} + 4m)}{2L_{\sigma} - m + 5}, \quad (8.3)$$

где γ – средневзвешенный объем вышележащих пород;

l_o – шаг обрушения основной кровли (при $m_n \geq 10m$ принимается $l_o = 0$).

$$l_1 = \sqrt{\frac{k_3^2 m P^2}{\sigma_{сж}^2}}, \quad (8.4)$$

где k_3 – коэффициент запаса, равный 1,5 (при ширине полосы свыше 1,5 м, $k_3 = 1,2$).

Для непосредственного и оперативного определения боковой нагрузки $(q_{\sigma})_3$ от действия литой полосы на основе формул (8.2) и (8.3) построена номограмма (рис. 8.3). Расчет ведется в соответствии с ходом ключа (пунктирная ломаная линия), пример которого показан для следующих исходных данных: $l_o = 10$ м; $m_{н.к} = 2$ м; $m = 1$ м; $\varphi = 30^\circ$; $l_1 = 3$ м. Из отметки $l_o = 10$ м на горизонтальной шкале квадранта I опускаем перпендикуляр до пересечения с линией $m_{н.к} = 2$, откуда проводим горизонталь до правой границы квадранта I и полу-

чаем точку A . От отметки $l_o = 10$ на горизонтальной шкале квадранта II опускаем перпендикуляр до пересечения с линией $m = 1,0$, откуда проводим горизонталь до левой границы квадранта II и находим точку B . Соединяем точки A и B прямой и в точке ее пересечения с вертикальной шкалой (между квадрантами I и II) определяем значение промежуточного параметра 3,5. Это значение параметра откладываем на горизонтальной шкале квадранта III и опускаем перпендикуляр до пересечения с прямой $\varphi = 30$, откуда проводим горизонталь в квадрант IV до пересечения с прямой $l_1 = 3$. Из точки пересечения в квадрант IV опускаем перпендикуляр до горизонтальной шкалы квадранта IV, где и читаем ответ $(q_\sigma)_3 = 370$ кПа.

В зоне влияния очистных работ распределение нагрузки на крепь относительно вертикальной оси выработки становится несимметричным: преобладающая нагрузка на раму (концентрируется со стороны выработанного пространства. Этот факт учитывается произвольным параметром K , расчет которого выполняется по номограмме на рис. 8.4 в соответствии с ходом ключа для следующих исходных данных: угол внутреннего трения породы $\varphi = 30^\circ$; отношение

$\frac{\Delta q_\sigma}{q_\sigma} = 0,4$, которое определяется по номограмме на рис. 8.2. Например,

для приведенного примера в номограмме по расчету вертикальной нагрузки определена величина нагрузки вне зоны влияния очистных работ $q_\sigma = 117$ кПа и позади очистного забоя $(q_\sigma)_1 = 165$ кПа. Тогда, $\Delta q_\sigma = (q_\sigma)_1 - q_\sigma = 48$ кПа, а отношение

$\frac{\Delta q_\sigma}{q_\sigma} = 0,4$. Для приведенных исходных данных по номограмме (см. рис.

8.4) определяем величину отношения $\frac{K}{q_\sigma} = 0,395$ и сам параметр K , равный

$$K = 0,395 \cdot q_\sigma = 46,2 \text{ кПа.}$$

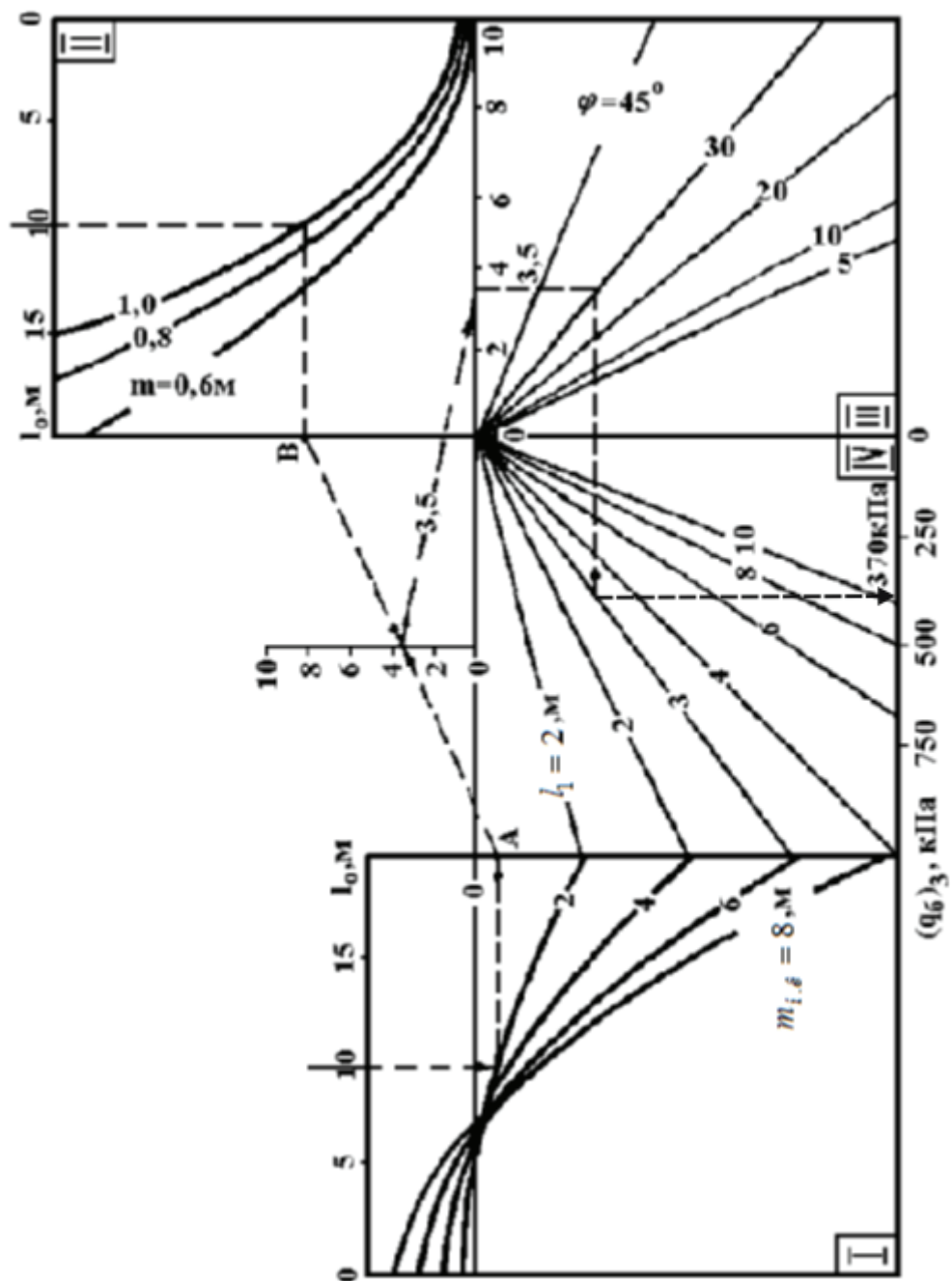


Рисунок 8.3 – Номограмма для расчета боковой нагрузки на крепь $(q_b)_3$ от действия литой полосы

8.2 Расчет параметров установки анкеров в рамно-анкерной крепи

Проведенные исследования взаимодействия рамно-анкерной крепи с породным массивом вокруг выемочных выработок, подверженных интенсивному влиянию очистных работ, решение задачи по расчету усилий в крепи от действия нагрузок со стороны породного массива, численный анализ полученных решений позволили разработать инженерный метод расчета рациональных параметров податливой рамно-анкерной крепи, базирующийся на построении ряда номограмм, что даст возможность оперативно и с достаточной точностью произвести расчет параметров в зависимости от горно-геологических и горно-технических условий поддержания выемочной выработки. К основным расчетным параметрам рамно-анкерной крепи относятся: реакции N_j воздействия анкеров (равные в пределах их несущей способности), координаты θ_{N_j} установки анкеров, шаг L установки или тип спецпрофиля СВП рамной крепи.

8.2.1. Расчет требуемой реакции воздействия анкеров на стойки рамы

На рисунке 8.4 приведена номограмма для определения требуемой реакции N_1 нижнего анкера, располагаемого со стороны нерабочего борта выработки. Численный анализ показал, что требуемая величина реакции N_1 анкера существенно образом (более 5% от величины N_1) зависит от переменных: φ , φ_y , $\frac{k}{q_\sigma}$, $\frac{m_y}{r}$, $\frac{h_\sigma}{r}$ (радиус свода r принимаем равным половине ширины выработки в проходке).

Расчет параметра $\frac{N_1}{q_\sigma r}$ ведется по квадрантам I-V в соответствии с ходом

ключа для следующих исходных данных: $\varphi = 30^\circ$, $\varphi_y = 20^\circ$, $\frac{h_\sigma}{r} = 0,3$ и $\frac{m}{r} = 0,4$

(что, например, при $r = 2,5$ м соответствует глубине подрывки почвы выработки

$h_\sigma = 0,75$ м и мощности пласта $m_y = 1$ м), $\frac{k}{q_\sigma} = 0,4$. От горизонтальной шкалы

квадранта I и точки $\varphi = 30^\circ$ опускаем перпендикуляр до пересечения с линией $\frac{h_0}{r} = 0,3$, откуда проводим горизонталь в квадрант II до пересечения с линией $\frac{m_y}{r} = 0,4$; из этой точки опускаем перпендикуляр до нижней границы квадранта II, где получаем точку A (см. рис. 4.10). От отметки $\varphi_y = 20^\circ$ на вертикальной шкале квадранта IV проводим горизонталь до пересечения с линией $\frac{m_y}{r} = 0,4$, откуда восстанавливаем перпендикуляр до верхней границы квадранта IV и получаем точку B . Соединяем точки A и B прямой и получаем на суммирующей шкале квадранта III значение промежуточного параметра 0,235, которое откладываем на вертикальной шкале квадранта V. Из этой точки проводим горизонталь до пересечения с линией $\frac{k}{q_e} = 0,4$, откуда восстанавливаем перпендикуляр до верхней горизонтальной шкалы квадранта V, где читаем ответ $\frac{N_1}{q_e r} = 0,285$ м.

Абсолютная величина реакции N_1 нижнего анкера (например, при $r = 2,5$ м и $q_e = 165$ кПа) составит $N_1 = 0,285 \text{ м} \times 2,5 \text{ м} \times 165 \text{ кПа} = 117 \text{ кН}$ при установке одной рамы на один погонный метр выработки. Если количество рам на погонный метр выработки будет равно единице, то есть $n = 1$, то реакция N_1 нижнего анкера равна 117 кН. При другом значении n количества установки рам на погонный метр выработки реакция N'_1 анкера равна

$$N'_1 = \frac{N_1}{n}. \quad (8.5)$$

На рисунке 8.5 приведена номограмма для определения требуемой реакции N_2 верхнего анкера со стороны нерабочего борта выработки. Расчет производится в соответствии с ходом ключа по квадрантам I-V по аналогии с номограммой для расчета реакции N_1 . Для ранее приведенных исходных данных величина параметра $\frac{N_2}{q_e r}$ для верхнего анкера составляет 0,20 м, а абсолютное значение

реакции N_2 (при $r = 2,5$ м и $q_6 = 165$ кПа) равно $N_2 = 0,20$ м \times $2,5$ м \times 165 кПа = 83 кН на один погонный метр выработки.

На рисунке 8.6 приведена номограмма для расчета требуемой реакции N_4 нижнего анкера, расположенного со стороны рабочего борта выработки. Определение параметра $\frac{N_4}{q_6 r}$ производится в соответствии с ходом ключа по квад-

рантам I-V для исходных данных: $\varphi = 30^\circ$, $\frac{h_6}{r} = 0,3$, $\frac{(q_6)_3}{q_6} = 2,0$, $\frac{(q_6)_2}{q_6} = 0,5$,

$\frac{m_y}{r} = 0,4$, $\frac{k}{q_6} = 0,4$ и ведется в следующей последовательности. Из отметки

$\varphi = 30^\circ$ на горизонтальной шкале квадранта I опускаем перпендикуляр до пересечения с линией $\frac{h_6}{r} = 0,3$, откуда проводим горизонталь в квадрант II до линии

$\frac{(q_6)_3}{q_6} = 2,0$ и из точки пересечения опускаем перпендикуляр до нижней грани-

цы квадранта II, где получаем точку A . От значения $\frac{(q_6)_2}{q_6} = 0,5$ на вертикаль-

ной шкале квадранта IV проводим горизонталь до пересечения с линией $\frac{m_y}{r} = 0,4$ и восстанавливаем перпендикуляр до верхней границы квадранта IV,

где получаем точку B . Соединяем точки A и B и на горизонтальной шкале квадранта III и определяем значение промежуточного параметра, равное $0,315$.

Это значение откладываем на вертикальной шкале квадранта V, проводим горизонталь до пересечения с линией $\frac{k}{q_6} = 0,4$, откуда восстанавливаем перпен-

дикуляр до горизонтальной шкалы квадранта V, где читаем ответ $\frac{N_4}{q_6 r} = 0,353$ м.

Абсолютное значение реакции N_4 нижнего анкера (например, при $r = 2,5$ м и $q_6 = 165$ кПа) составит $N_4 = 0,353$ м \times $2,5$ м \times 165 кПа = 145 кН на один погонный метр выработки.

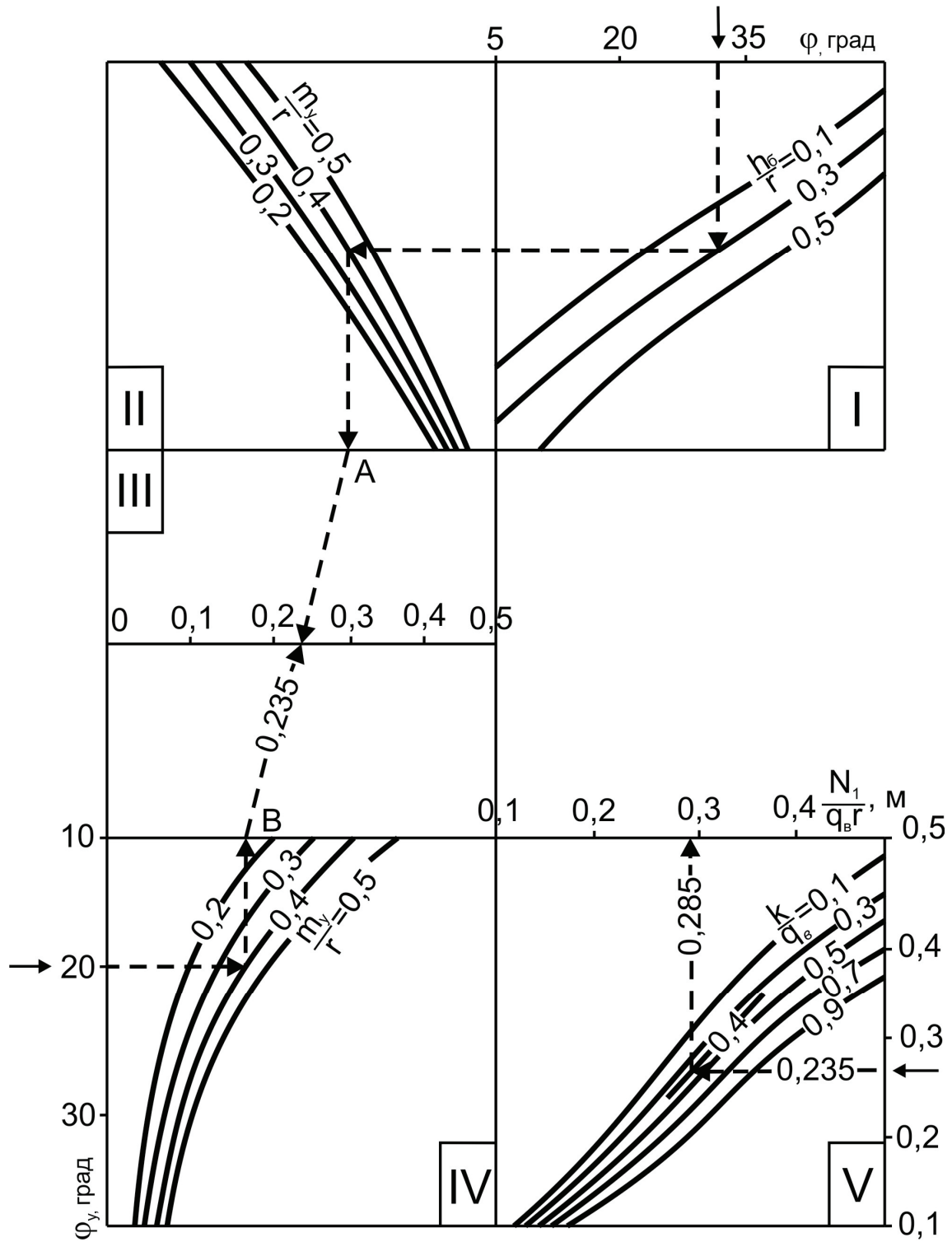


Рисунок 8.4 – Номограмма для определения требуемой реакции N_1 нижнего анкера, расположенного со стороны нерабочего борта выработки

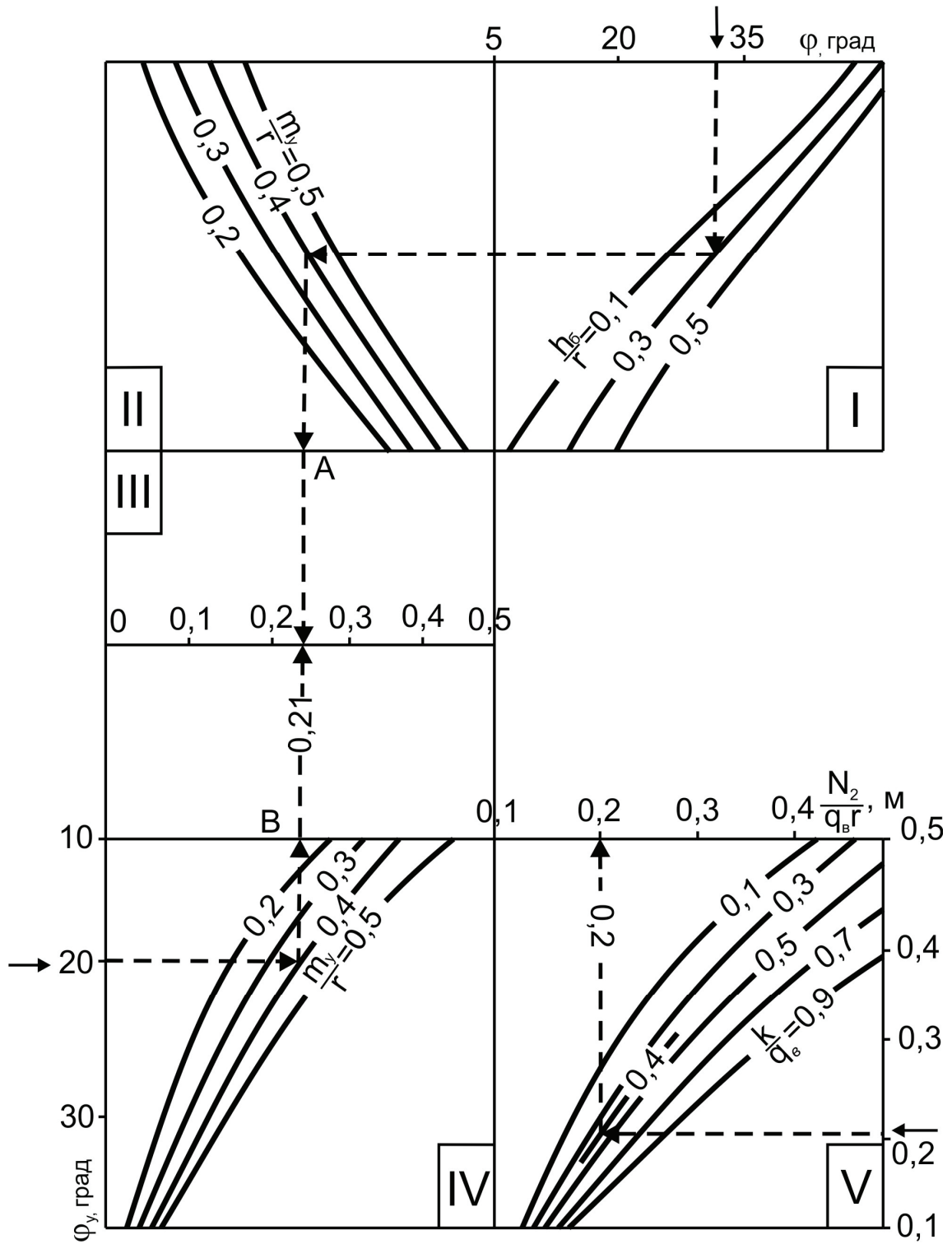


Рисунок 8.5 – Номограмма для расчета требуемой реакции N_2 верхнего анкера, расположенного со стороны нерабочего борта выработки

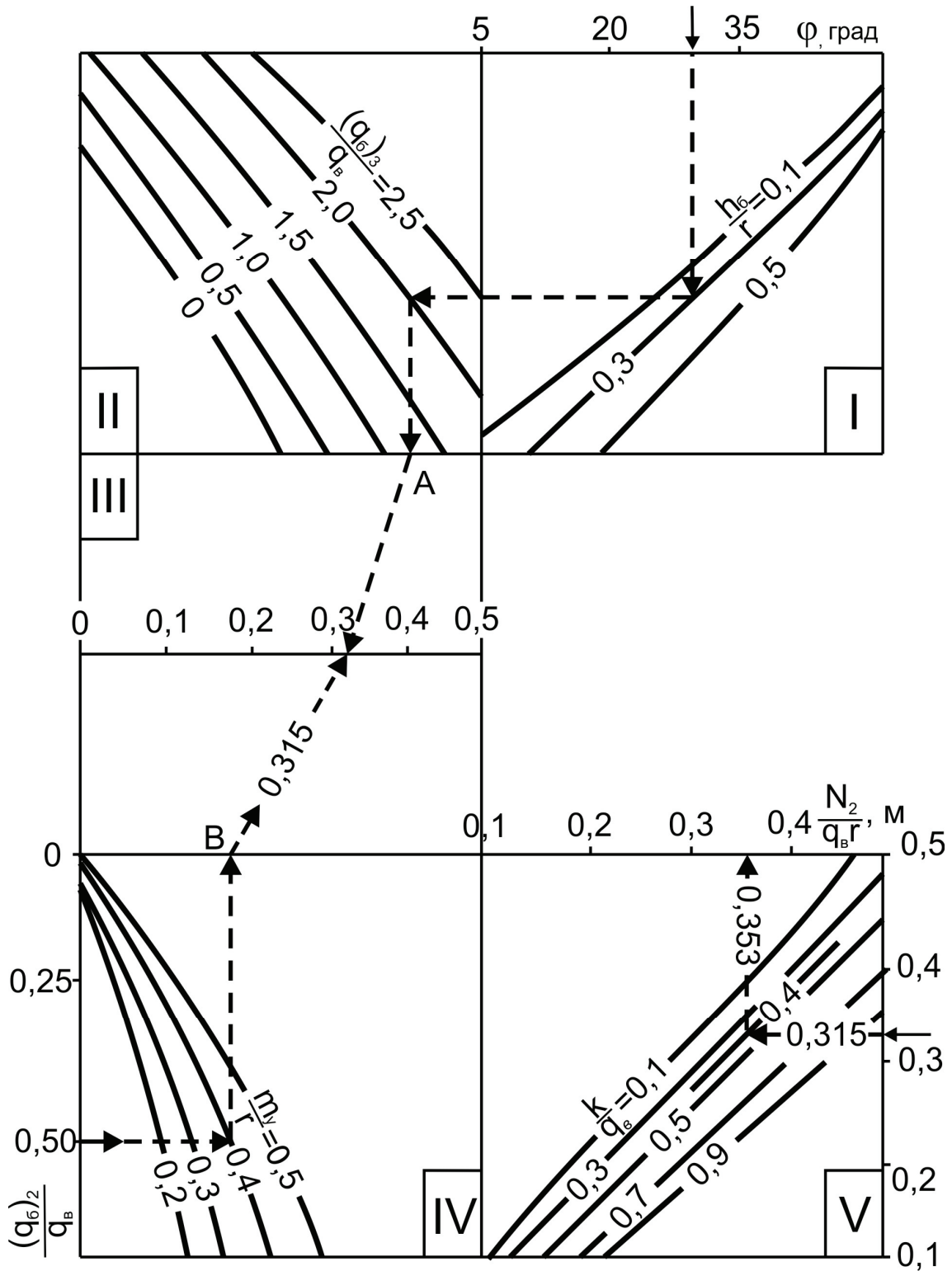


Рисунок 8.6 – Номограмма для расчета требуемой реакции N_4 нижнего анкера, расположенного со стороны рабочего борта выработки

Для расчета требуемой реакции N_3 верхнего анкера, расположенного со стороны рабочего борта выработки, построена номограмма (рис. 8.7), правило пользования которой аналогично предыдущему примеру. Для указанных выше исходных данных получено значение $\frac{N_3}{q_6 r} = 0,255$ м, а абсолютное значение реакции N_3 составило $N_3 = 105$ кН на один погонный метр выработки.

8.2.2. Расчет координат установки узлов связи

податливых анкеров на стойках рамной крепи

Кроме требуемых усилий реакции N_j анкеров к рациональным параметрам их установки относятся также и координаты месторасположения по контуру выработки. В качестве такого параметра использована координата θ_{N_j} ($j = 1, \dots, 4$), которая, как показал анализ, существенно зависит от следующих переменных: угла внутреннего трения породы φ ; отношения $\frac{h_{\bar{o}}}{r}$ глубины подрывки к радиусу свода выработки; отношение $\frac{m_y}{r}$ мощности пласта к радиусу свода выработки; угла внутреннего трения φ_y угольного пласта; отношение $\frac{k}{q_6}$. Здесь перечислены существенно (более 5%) влияющие переменные на координаты θ_{N_j} анкеров, устанавливаемых со стороны угольного пласта ($j = 1, 2$). Для другой пары анкеров ($j = 3, 4$), которые устанавливаются со стороны выработанного пространства в расчете θ_{N_j} необходимо учитывать следующие переменные: отношение $\frac{(q_{\bar{o}})_3}{q_6}$ боковой нагрузки $(q_{\bar{o}})_3$ по глубине подрывки почвы выработки со стороны ее рабочего борта к вертикальной q_6 ; отношения $\frac{(q_{\bar{o}})_2}{q_6}$ боковой нагрузки $(q_{\bar{o}})_2$, действующей по мощности угольного пласта со

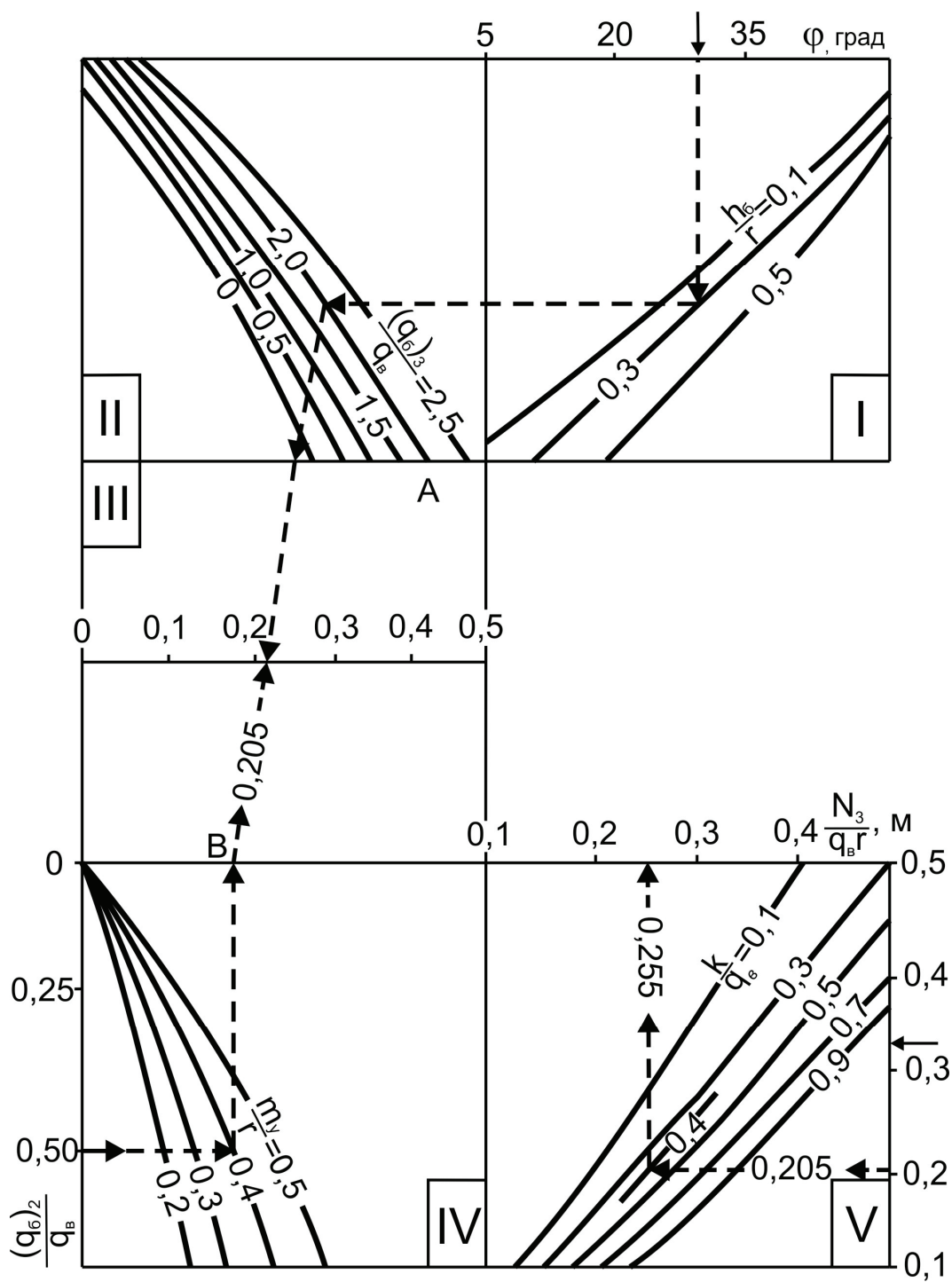


Рисунок 8.7 – Номограмма для расчета требуемой реакции N_3 верхнего анкера, расположенного со стороны рабочего борта выработки

стороны рабочего борта к вертикальной; отношение $\frac{k}{q_e}$, угол внутреннего трения породы φ ; отношения $\frac{h_{\sigma}}{r}$ и $\frac{m_y}{r}$.

На рисунке 8.8 приведена номограмма для расчета рациональной координаты θ_{N_1} установки нижнего анкера, который выполняется по квадрантам I-IV в соответствии с ходом ключа для следующих исходных данных: $\varphi = 30^\circ$, $\varphi_y = 20^\circ$, $\frac{k}{q_e} = 0,4$, $\frac{h_{\sigma}}{r} = 0,3$, $\frac{m_y}{r} = 0,4$.

Из отметки $\varphi = 30^\circ$ на вертикальной шкале квадранта I проводим горизонталь до пересечения с линией $\frac{h_{\sigma}}{r} = 0,3$; из этой точки опускаем перпендикуляр в квадрант II до пересечения с линией $\frac{k}{q_e} = 0,4$, откуда проводим горизонталь до квадранта II, где получаем значение 1,77 вспомогательного параметра. По этому значению строится кривая в квадранте III. Из отметки $\varphi_y = 20^\circ$ в квадранте IV проводим горизонталь с линией $\frac{m_y}{r} = 0,4$, откуда опускаем перпендикуляр в квадрант III до пересечения с построенной нами линией 1,77. Из точки пересечения проводим горизонталь до правой вертикальной шкалы квадранта III, где и читаем ответ $\theta_{N_1} = 90^\circ$. Таким образом, для данного примера, наиболее рационально устанавливать нижний анкер вблизи пяты свода рамной крепи.

Расчет рациональной координаты θ_{N_2} установки верхнего анкера со стороны нерабочего борта выработки выполняется по номограмме (рис. 8.9) аналогично описанному выше примеру. В результате расчета для тех же исходных данных получаем, что верхний анкер необходимо устанавливать под углом $\theta_{N_2} = 38,6^\circ$ к вертикально оси выработки.

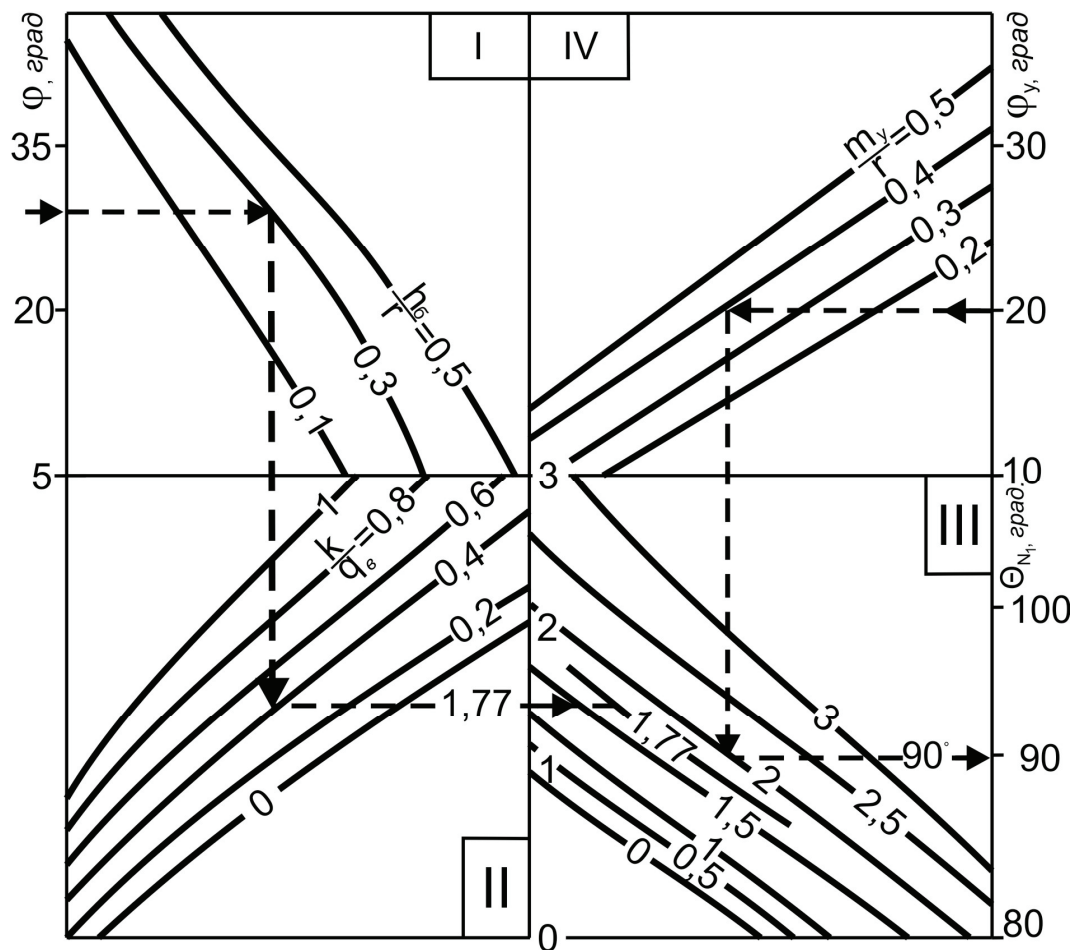


Рисунок 8.8 – Номограмма для расчета рациональной координаты θ_{N_1} установки нижнего анкера, расположенного со стороны нерабочего борта выработки

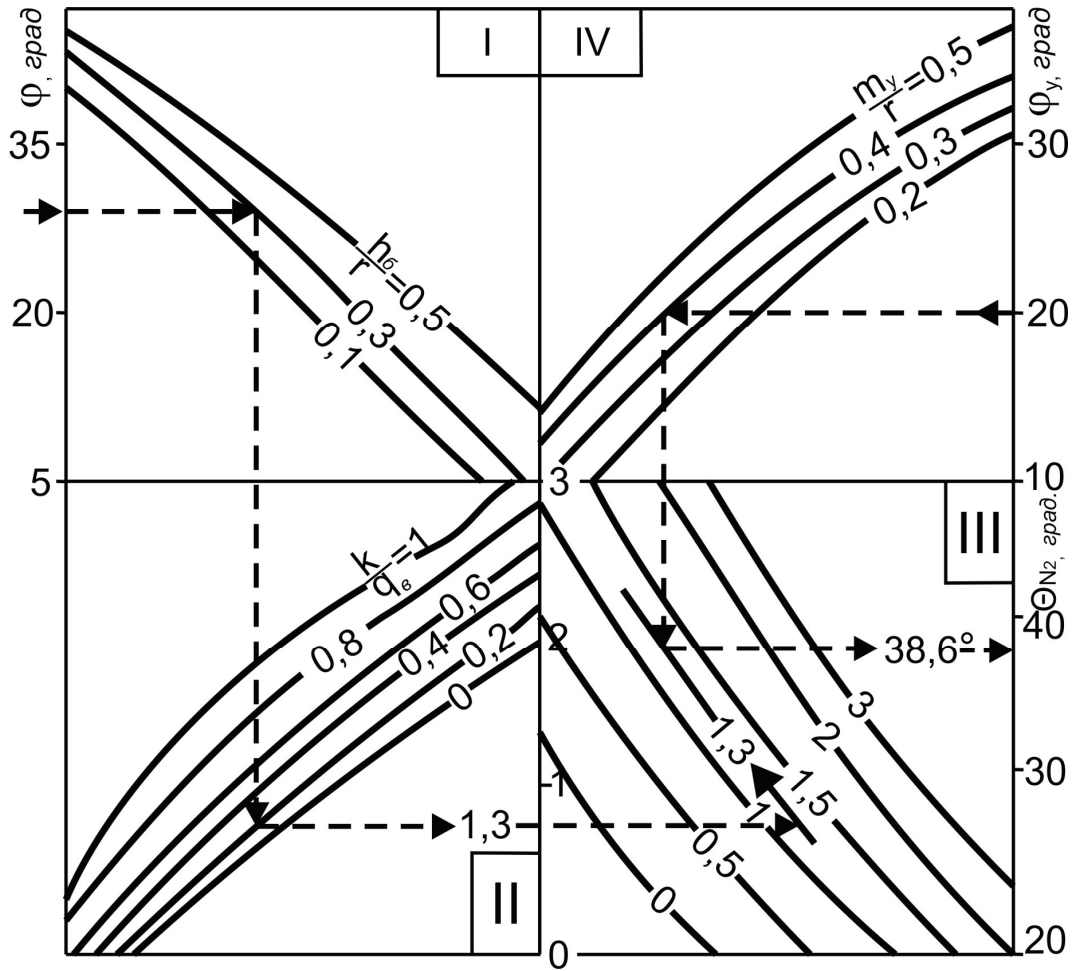


Рисунок 8.9 – Номограмма для расчета координаты θ_{N_2} установки
 верхнего анкера, расположенного со стороны
 нерабочего борта выработки

На рисунке 8.10 приведена номограмма для определения рационального значения θ_{N_3} установки верхнего анкера, расположенного со стороны рабочего борта. Расчет ведется в соответствии с ходом ключа для следующих исходных

данных: $\frac{(q_{\delta})_3}{q_{\delta}} = 0,8$, $\frac{(q_{\delta})_2}{q_{\delta}} = 0,4$; $\frac{k}{q_{\delta}} = 0,4$; $\varphi = 30^\circ$; $\frac{h_{\delta}}{r} = 0,3$, $\frac{m_y}{r} = 0,4$. Осталь-

ные параметры не оказывают существенного влияния на угловую координату

θ_{N_3} . Порядок расчета следующий: из отметки $\frac{(q_{\delta})_3}{q_{\delta}} = 0,8$ горизонтальной шка-

лы квадранта I опускаем перпендикуляр до пересечения с линией $\frac{h_{\delta}}{r} = 0,3$; да-

лее проводим горизонталь в квадрант II до пересечения с линией $\frac{(q_{\delta})_2}{q_{\delta}} = 0,4$;

опускаем перпендикуляр в квадрант III до линии $\frac{m_y}{r} = 0,4$; проводим из этой

отметки горизонталь и на вертикальной шкале квадранта III читаем ответ для промежуточного параметра, равный 1,08. Затем из отметки $\varphi = 30^\circ$ на верти-

кальной шкале квадранта IV проводим горизонталь до линии $\frac{k}{q_{\delta}} = 0,4$, а оттуда

восстанавливаем перпендикуляр в квадрант V; из точки пересечения верти-

кального ключа с линией 1,08 в квадранте V на его горизонтальной шкале читаем ответ – $\theta_{N_3} = 27^\circ$.

По аналогии с предыдущим расчетом определяется координата нижнего анкера $\theta_{N_4} = 95^\circ$ по номограмме, приведенной на рисунке 8.11.

Высота h_j установки анкеров от почвы выработки определяется по формуле

$$h_j = h_{\delta} + r \cos \theta_{N_j}. \quad (8.6)$$

Для принятой конструктивной схемы с размещением на раме четырех анкеров разработана номограмма (рис. 8.12) для определения наименьшего

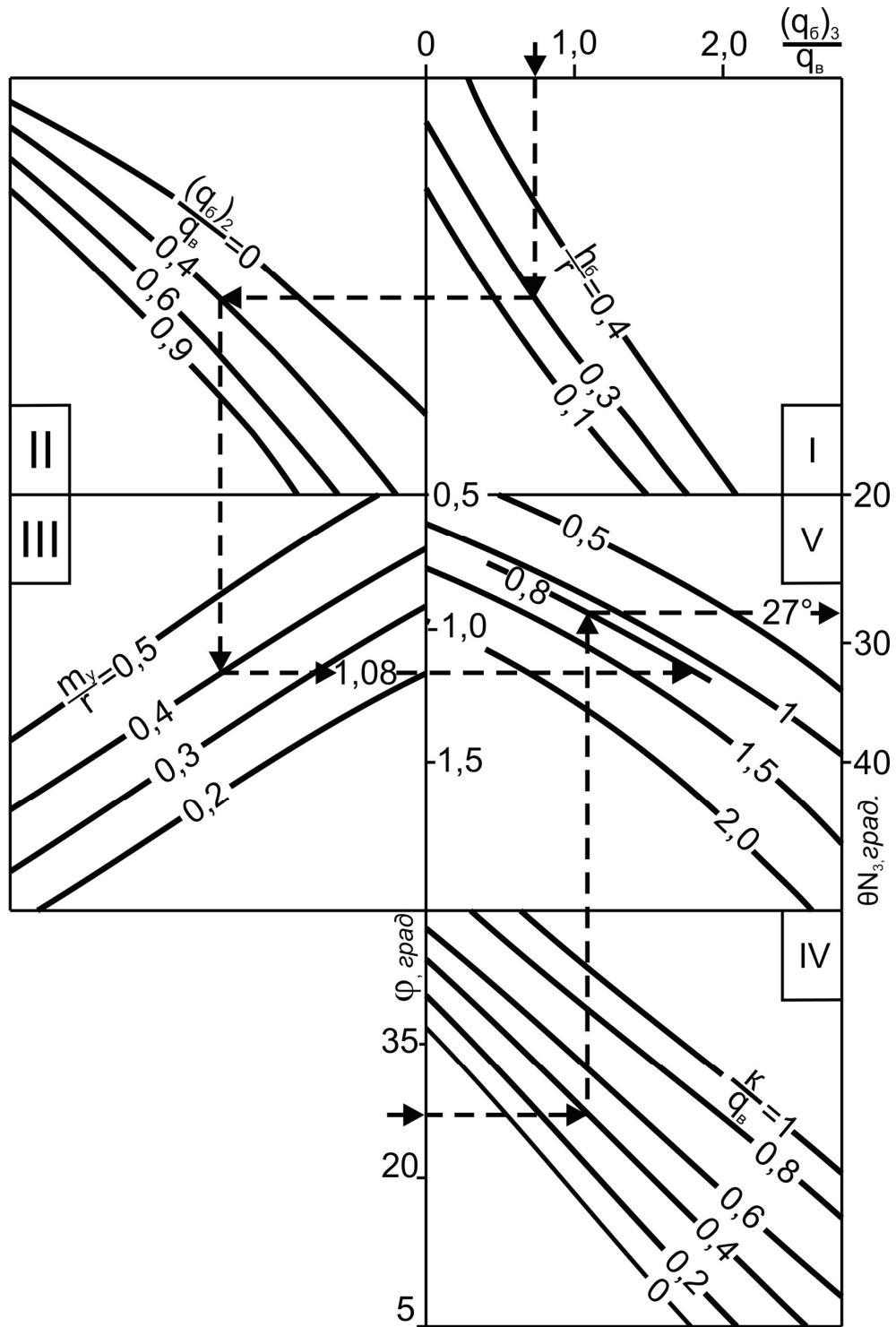


Рисунок 8.10 – Номограмма для расчета координаты установки θ_{N_3} верхнего анкера со стороны рабочего борта выработки

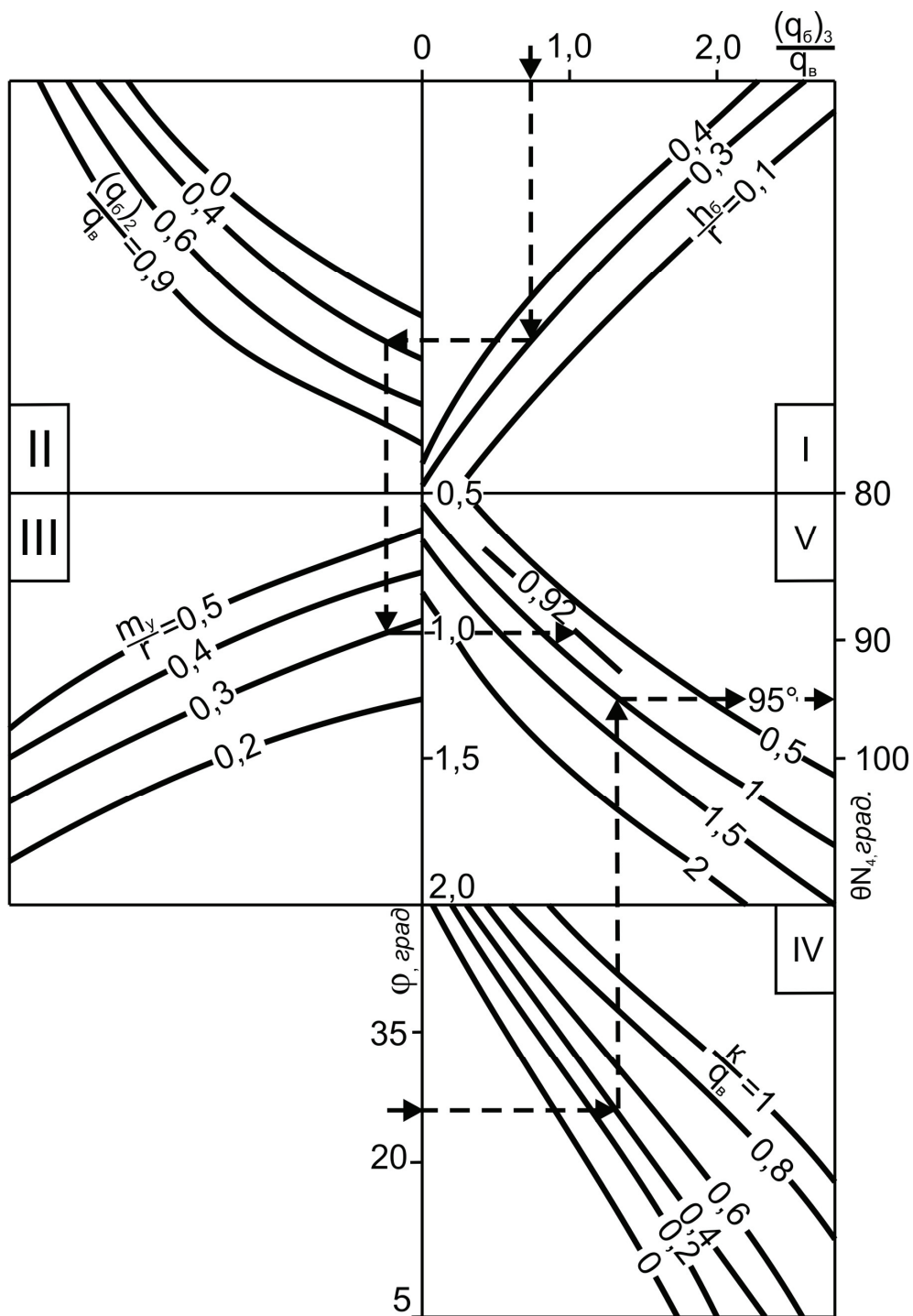


Рисунок 8.11 – Номограмма для расчета координаты установки θ_{N4}
нижнего анкера со стороны рабочего борта выработки

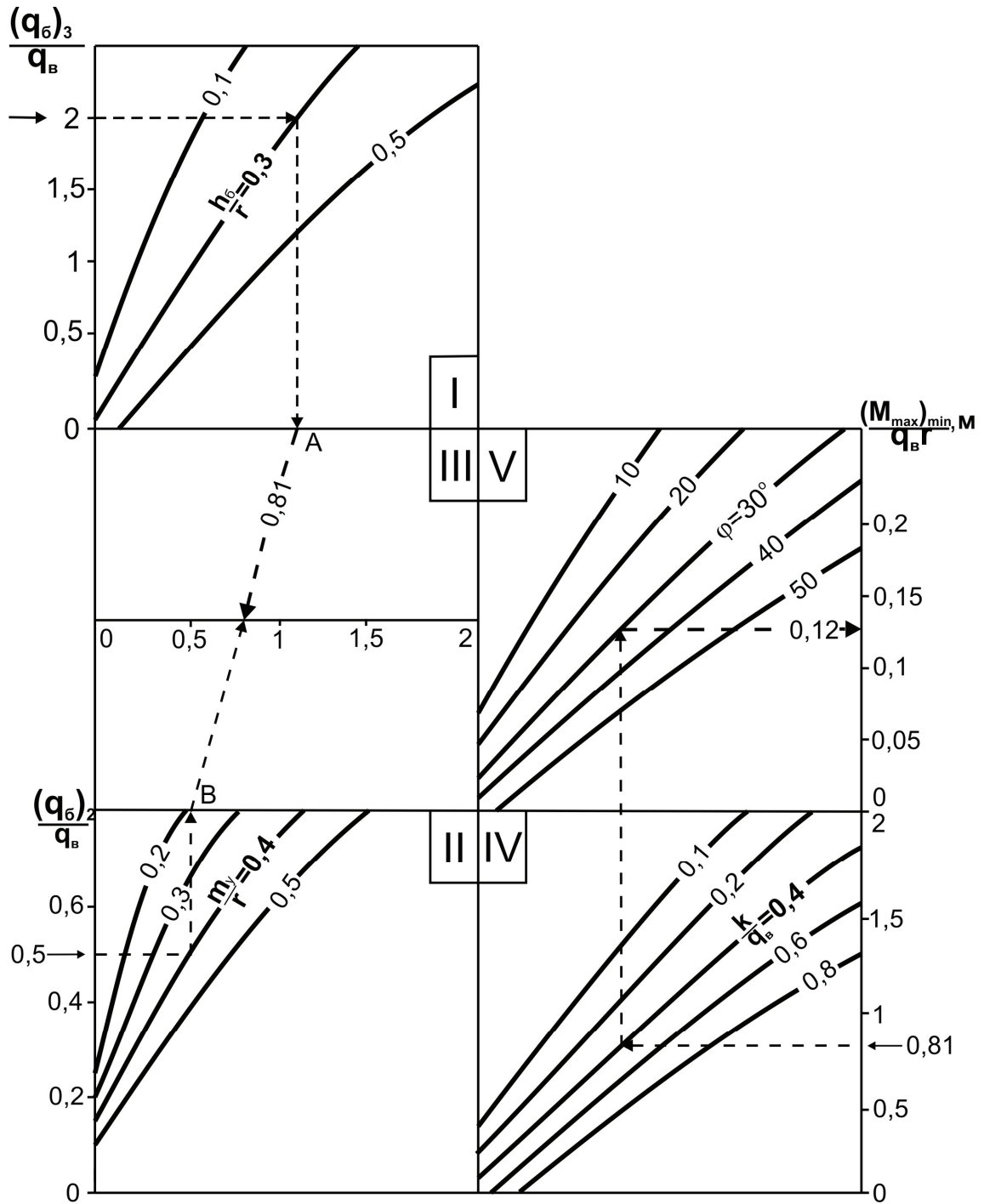


Рисунок 8.12 – Номограмма для определения минимально возможного

максимума $\frac{(M_{max})_{min}}{q_s r}$ изгибающего момента при

установке на раме по два анкера с каждой стороны

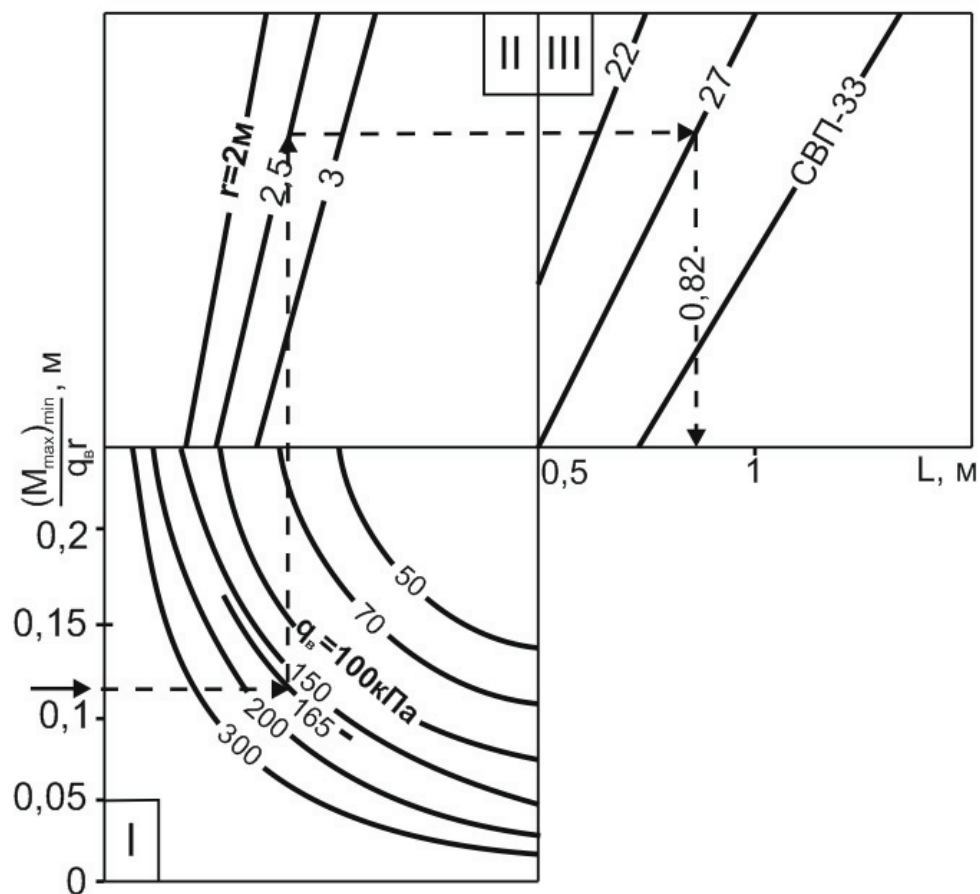


Рисунок 8.13 – Номограмма для расчета шага L установки рамно-анкерной крепи

значения максимального $(M_{max})_{min}$ изгибающего момента, который используется для расчета шага L установки рамно-анкерной крепи вдоль выемочной выработки.

Правило пользования номограммой в соответствии с ходом ключа пояснено для следующих исходных данных: $\frac{(q_{\sigma})_2}{q_e} = 0,5$, $\frac{(q_{\sigma})_3}{q_e} = 2$, $\frac{k}{q_e} = 0,4$, $\varphi = 30^\circ$;

$\frac{h_{\sigma}}{r} = 0,3$, $\frac{m_y}{r} = 0,4$. Сначала в квадранте I на нижней границе определяем точку A , затем в квадранте II на верхней границе определяем точку B . Соединяем точки A и B прямой и на промежуточной горизонтальной шкале квадранта III находим значение параметра 0,81, которое используем в квадранте IV. Далее последовательно по квадрантам IV-V производим вычисления и на вертикальной шкале квадранта V определяем ответ $\frac{(M_{max})_{min}}{q_e r} = 0,12$. При известных значениях

радиуса свода r выработки и вертикальной нагрузки на крепь q_e (например, $r = 2,5$ м, $q_e = 117$ кПа) рассчитываем абсолютное значение максимума изгибающего момента $(M_{max})_{min} = 0,12 \cdot 2,5 \cdot 117 = 35,1$ кН·м. По этому значению изгибающего момента по номограмме на рисунке 4.19 подбирается шаг установки крепи. Последовательно по квадрантам I-II-III производятся вычисления, результат которых читаем на нижней горизонтальной шкале квадранта III. Например,

для исходных данных $\frac{(M_{max})_{min}}{q_e r} = 0,12$; $q_e = 165$ кПа; СВП-27 получаем ответ

$L = 0,82$ м. Принимаем ближайший меньший шаг установки рам $L = 0,8$.

В итоге разработан инженерный метод расчета параметров рамно-анкерной крепи, предельно доступный для использования соответствующими подразделениями шахт и проектных организаций.

8.3. Выбор параметров анкера регулируемого постоянного сопротивления

В предыдущих разделах сформулированы основные требования к режиму работы анкеров, реализующих идею управляемого дифференцированного усиления рамной крепи для эффективного поддержания выемочных выработок. В свете этих требований выбрана наиболее подходящая конструкция податливого анкера с распорными эластичными втулками, работающего в режиме, близком к режиму постоянного сопротивления, а эффективность его применения была доказана в ходе шахтных испытаний рекомендуемого метода усиления рамной крепи.

Обоснование выбора конструкции податливого анкера построено на аналитических разработках, а, главное, – на результатах шахтных экспериментов, проведенных в разное время в различных горно-геологических условиях [15]. Установлено, что благодаря наличию эластичного распорного замка достигается относительно стабильное сопротивление анкера при его смещениях в несколько сотен миллиметров:

- в начальный период податливости ($U_{\sigma} = 15...100$ мм) достигается максимум N_{max} реакции анкера, который в среднем на 15% превышает его сопротивление N в податливом режиме;

- при смещениях более 150 мм наступает режим скольжения с колебаниями реакции до 16 – 20%, что по рекомендациям [15] учтено в расчетных формулах.

Расчет параметров распорного анкера выполняется по величине требуемой максимальной реакции N_{max} сопротивления (определенной в предыдущих разделах) с использованием разработки [15] по следующему алгоритму:

1. Определяется диаметр d несущего стержня анкера по внутренней поверхности резьбы

$$d \geq 1,27 \sqrt{\frac{N_{max}}{\sigma_T}}, \quad (8.7)$$

где σ_T – расчетный предел текучести стали, из которой изготовлен несущий стержень; обычно для соответствующих углеродистых марок сталей $\sigma_T = 230...300$ МПа.

По расчетной величине d подбирается ближайший больший стандартный диаметр несущего стержня.

2. По условию равнопрочности конструкции анкера рассчитывается минимально допустимая длина h эластичной втулки

$$h \geq -2,13 \left[\frac{E_{II}}{G} (e^2 - a^2) \right]^{0,5} \ln \left\{ 1 - 3,34 \cdot 10^{-2} \frac{d^2 \sigma_T}{e \sigma_{сж} f_{тр}} \left[\frac{G}{E_{II} (e^2 - a^2)} \right]^{0,5} \right\}, \quad (8.8)$$

где E_{II} – модуль упругости породы; определяется по данным испытаний механических характеристик приконтурных пород, при их отсутствии ориентировочно выбирается по данным [8];

G – модуль сдвига материала эластичных втулок; их рекомендуется изготавливать из легкоформируемых составов резин с $G = 0,5...3$ МПа;

$\sigma_{сж}$ – сопротивление породных стенок шпура одноосному сжатию; определяется по данным геологической службы шахты, ориентировочные сведения приведены в источниках [8];

$f_{тр} = 0,7...0,8$ – коэффициент трения материала эластичной втулки по породным стенкам шпура.

3. Количество $n_{\text{э}}$ эластичных втулок рассчитывается по формуле

$$m_{\text{э}} = \frac{h}{l}, \quad (8.9)$$

где l – длина втулки; обычно $l = 100, 200, 300$ мм.

Принимаем большее целое число эластичных втулок.

4. Наружный радиус e эластичной втулки подбирается по условию

$$e = 0,5d_{ш} - \Delta, \quad (8.10)$$

где $d_{ш}$ – диаметр шпура;

$\Delta = 1...2$ мм – технологический зазор между эластичной втулкой и породными стенками шпура.

5. Внутренний радиус a эластичной втулки подбирается по условию ее непроворота в процессе распора. Минимально допустимое значение a определяется по номограмме, приведенной на рисунке 8.14. В ней, помимо вышеприведенных параметров, использована такая механическая характеристика ее материала как модуль упругости E : для легкодеформирующейся резины $E = 1,5...10$ МПа.

Правила использования номограммой поясняется на следующем примере: $d = 20$ мм, $l = 0,1$ м (в замке анкера располагается одна эластичная втулка), $\frac{E_{II}}{G} = 10^3$, $E = 10$ МПа, $N = 70$ кПа. В соответствии с ходом ключа (пунктирная линия) расчет ведется последовательно по квадрантам I – II, III – VIII следующим образом. Из отметки $d = 20$ мм на вертикальной шкале квадранта I проводим горизонталь до линии $\frac{E_{II}}{G} = 10^3$, откуда опускаем перпендикуляр в квадрант II до пересечения с кривой $l = 0,1$ м. Из точки пересечения проводим горизонталь до правой шкалы квадранта II, на которой определяем точку 0,6. Это значение служит в качестве параметра в квадранте IV. Далее от горизонтальной шкалы квадранта III опускаем перпендикуляр до пересечения с линией $\frac{E_{II}}{G} = 10^3$, откуда проводим горизонталь в квадрант IV до прямой $E = 10$ МПа; затем опускаем перпендикуляр в квадрант V до линии $d = 20$ мм и проводим горизонталь в квадрант VI до линии со значением параметра 0,6, определенного ранее на правой шкале квадранта II. Из точки пересечения опускаем перпендикуляр в квадрант VII до прямой $N = 70$ кПа, откуда проводим горизонталь в квадрант VIII до линии $d = 20$ мм и, опуская перпендикуляр на горизонтальную шкалу квадранта VIII, получаем результат расчетов $a = 12,5$ мм.

Таким образом, при заданных выше исходных данных внутренний радиус эластичной втулки должен быть не меньше 12,5 мм во избежание контакта ее

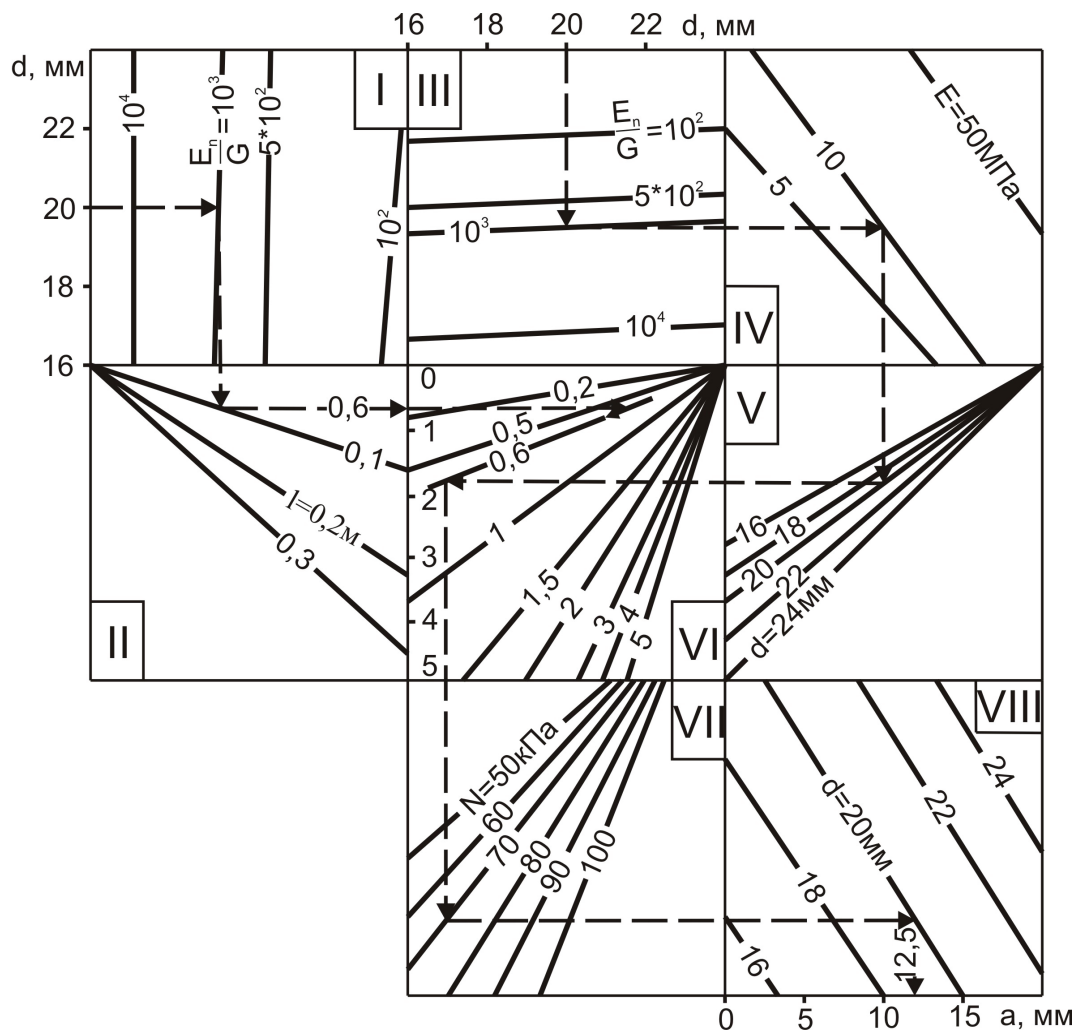


Рисунок 8.14 – Номограмма для определения минимально допустимого начального внутреннего радиуса эластичной втулки

внутренней поверхности с вращающимся при распоре замка несущим стержнем для предотвращения резкого возрастания требуемого крутящего момента, прилагаемого к несущему стержню в период распора замка податливого анкера.

6. Рассчитывается максимальный крутящий момент $(M_p)_{max}$ распора эластичных втулок (в процессе установки анкера), при котором достигается максимальная реакция N_{max} сопротивления анкера

$$(M_p)_{max} = (e^2 - a^2) \sigma_{сж} \left[d_1 \left(\frac{t}{d_1 + 2a} + 1,81 f_1 \right) \left(1 - 0,73 \frac{t f_1}{d_1 + 2a} \right)^{-1} + (a + e) f_1 \right], \quad (8.11)$$

где d_1 – диаметр несущего стержня, соответствующий выбранному диаметру d его внутренней резьбы;

t – шаг резьбы;

f_1 – коэффициент трения стали по стали: при отсутствии смазки $f_1 = 0,15$; при наличии смазки $f_1 = 0,05$.

7. Определяется связь величины регулируемого момента распора M_p эластичных втулок с требуемой реакцией сопротивления N анкера в процессе управляемого усиления рамной крепи

$$M_p(N) = \frac{(M_p)_{max}}{\Phi \sigma_{сж}} N, \quad (8.12)$$

где $\Phi = 7,35 d_{ш} f_{тр} \sqrt{\frac{E_{II}}{G} (d_{ш}^2 - d_1^2)} \left\{ 1 - \exp \left[-0,094 l_1 \sqrt{\frac{G}{E_{II} (d_{ш}^2 - d_1^2)}} \right] \right\}; \quad (8.13)$

$$l_1 = 0,25 l \left(8 - \frac{d_{ш}^2 - d_1^2}{e^2 - a^2} \right). \quad (8.14)$$

В итоге получены все необходимые соотношения не только для выбора параметров анкеров с распорным эластичным замком, но и зависимость для управления режимом работы анкеров посредством регулировки крутящего момента в процессе их эксплуатации.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок [Текст] / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: Вільпо, 2002. – 372 с.
2. Байсаров, Л.В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых выработок [Текст] / Л.В. Байсаров, М.А. Ильяшов, А.И. Демченко. – Днепропетровск: ЧП «Ли́ра ЛТД», 2005. – 240 с.
3. КД 12.01.01.501-98. Системазабезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги [Текст]. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 1999. – 42 с.
4. КД 12.01.01.502-98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Порядок та організація [Текст]. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 1999. – 14 с.
5. Временный технологический регламент по охране и поддержанию выемочных выработок при их повторном использовании [Текст]. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – 23 с.
6. Технологический регламент поддержания повторно используемых выемочных штреков комбинированными охранными системами [Текст]. – Днепропетровск-Донецк: «ВИК», 2009. – 36 с.
7. Бондаренко, В.И. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст] / В.И. Бондаренко, А.В. Мартовицкий, И.А. Ковалевская, В.Г. Черватюк. – Днепропетровск: ТОВ «Лізунов Прес», 2010. – 340 с.
8. Бондаренко, В.И. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст] / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, А.В. Мартовицкий, А.Ф. Копылов. – Днепропетровск: ТОВ «Дріант», 2010. – 328 с.
9. Бондаренко, В.И. Геомеханика взаимодействия анкерной и рамной крепей горных выработок в единой грузонесущей системе [Текст] / В.И. Бондаренко, Ю.Я. Чередниченко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, А.В. Вивчаренко, В.В. Фомичев. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2010. – 174 с.

10. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони [Текст]. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 113 с.

11. КД 12.01.01.201 – 98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. [Текст]. – К.: УкрНИМИ, 1998. – 149 с.

12. Руководство по проектированию подземных горных выработок на шахтах Западного Донбасса [Текст]. – СПб.: ВНИМИ, 1992. – 51 с.

13. Цимбаревич, П.М. Рудничное крепление [Текст] / П.М. Цимбаревич. – М.: Углетехиздат, 1951. – 608 с.

14. Временная инструкция по охране выемочных выработок полосами из твердеющих материалов [Текст]. – Люберцы: Изд-во ИГД им. А.А. Скочинского, 1981. – 20 с.

15. Ковалевская, И.А. Взаимодействие анкерной и комбинированной крепей с породным массивом и разработка метода расчета их рациональных параметров [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / И.А. Ковалевская. – Днепропетровск: ГГАУ, 1995. – 200 с.



БОНДАРЕНКО
Владимир Ильич

Профессор, доктор
технических наук



КОВАЛЕВСКАЯ
Ирина Анатольевна

Профессор, доктор
технических наук



СИМАНОВИЧ
Геннадий Анатольевич

Профессор, доктор
технических наук



ЧЕРВАТЮК
Виктор Григорьевич

Горный инженер,
кандидат технических наук



СНИГУР
Василий Григорьевич

Горный инженер



МАЛЫХИН
Александр Владимирович

Горный инженер

Разработчики:

Р. Свистун
М. Демидов
Д. Астафьев

В. Фомичев
А. Мамайкин
Я. Шаповалов

В. Лапко
В. Соцков
А. Яркович