

The diagram shows a cross-section of a mine with various geological and engineering features. A coordinate system with X and Y axes is in the top left. Several dashed lines represent different boundaries or stress fields, labeled with Roman numerals: I, I', II, II', II'', and I''. A central vertical section shows a shaft with a roof and pillars. Angles φ_1 and φ_2 are indicated. The background is a grid.

В.И. Бондаренко
И.А. Ковалевская
Г.А. Симанович
А.В. Вивчаренко
А.В. Малыгин
А.С. Гусев

ГЕОМЕХАНИКА НАГРУЖЕНИЯ

и расчет параметров
крепёжной и охранной
систем подготовительных
выработок шахт
Западного Донбасса

**В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович,
А.В. Вивчаренко, А.В. Малыхин, А.С. Гусев**

**ГЕОМЕХАНИКА НАГРУЖЕНИЯ И
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЕЖНОЙ И
ОХРАННОЙ СИСТЕМ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ
ВЫРАБОТОК ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

Монография

**Днепропетровск
ТОВ «ЛізуновПрес»
2014**

УДК 622.28.043:622.23.055
ББК 33.141
Г 35

Друкується відповідно до рішення Вченої ради Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (протокол №2 від 25.02.2014 р.)

Рецензенти: В.І. Бузило, д-р техн. наук, проф.
П.І. Пономаренко, д-р техн. наук, проф.

Г 35 **Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., Симанович Г.А., Вівчаренко О.В., Малихін О.В., О.С. Гусєв.** Геомеханіка навантаження і розрахунок параметрів кріпильної й охоронної систем підготовчих виробок шахт Західного Донбасу: монографія / В.І. Бондаренко, І.А. Ковалевська, Г.А. Симанович, О.В. Вівчаренко, О.В. Малихін, О.С. Гусєв. – Дніпропетровськ: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – 228 с. (російською мовою).

ISBN 978-966-2575-43-9

У монографії викладені результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану приконтурних порід виїмкових виробок, їх кріпильної й охоронної систем на різних ділянках впливу підвищеного гірського тиску, що змінюється в часі й просторі; наведені закономірності взаємозв'язку структури й властивостей порід вуглевміщуючої товщі з конструктивними й технологічними параметрами кріплення й охорони виїмкових виробок, що дозволило вдосконалити методику їхнього розрахунку з урахуванням асиметрії додатка навантаження в зоні впливу очисних робіт.

Друкується за авторською редакцією.

УДК 622.28.043:622.23.055
ББК 33.141

© Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., 2014
© Симанович Г.А., Вівчаренко О.В., 2014
© Малихін О.В., Гусєв О.С. 2014
© ТОВ «ЛізуновПрес», 2014

ISBN 978-966-2575-43-9

ВВЕДЕНИЕ

Долгосрочная стратегия развития угольной промышленности Украины и Западного Донбасса в том числе нацеливает на широкомасштабное применение высокопроизводительного очистного оборудования, эффективность работы которого предусматривает надежность функционирования выемочных выработок. С другой стороны, высокие темпы отработки выемочных участков требуют своевременного их воспроизводства, что является технически решаемой задачей, но ресурсосберегающая направленность технической политики указывает на значительную экономию средств при повторном использовании выемочных выработок и этот путь признан наиболее перспективным, а проблему эффективного поддержания выработок в зоне влияния очистных работ – чрезвычайно актуальной.

Горно-геологические условия шахт Западного Донбасса характеризуются как сложные по причине ведения горных работ в слоистом массиве слабых пород, часть которых обводнена и разбита интенсивной трещиноватостью. В таких условиях активно развиваются проявления горного давления, особенно, в зоне влияния очистных работ, где протяженная выемочная выработка поддерживается длительный период вплоть до прохода второго очистного забоя. Тем не менее, эти условия достаточно разнообразны и их следует разделить и сгруппировать по степени сложности (прежде всего, технической возможности) повторного использования выемочных выработок. Для каждой из групп разрабатываются свои базовые схемы крепления и охраны с вариацией параметров в соответствии с характером и величиной проявлений горного давления. Концепции ресурсосбережения при повторном использовании основываются, прежде всего, на анализе опыта поддержания выемочных выработок в различных горно-геологических условиях и выявления недостатков применяемых крепежных и охранных систем. Другой фактор – современные тенденции по широкомасштабному применению опорно-анкерного крепления, канатных анкеров и рамно-анкерной крепи в составе крепежных систем, а также строительных смесей (твердеющих составов) для возведения охранных систем переменной жесткости.

Считается очевидным, что применение современных ресурсосберегающих технологий поддержания выемочных выработок само по себе еще не гарантирует достижение ожидаемого эффекта – параметры крепежных и охранных систем должны выбираться в соответствии с характером и величиной проявлений горного давления в конкретных условиях поддержания, а для этого проведен комплекс исследований, включающий:

- анализ опыта поддержания повторно используемых выемочных выработок на шахтах Западного Донбасса;
- анализ современных разработок в области ресурсосберегающих технологий поддержания выработок как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ;

– выявление особенностей проявлений горного давления на шахтах Западного Донбасса на базе мониторинга состояния очистных (концевые участки лав) и участковых выработок;

– формирование представлений об особенностях механизма сдвижения углевмещающего массива на всех характерных участках поддержания повторно используемой выработки и разработка серии соответствующих геомеханических моделей;

– расчет и анализ НДС системы «массив – крепь – охранная полоса» выемочных выработок новейшими компьютерными технологиями при многовариантном моделировании горно-геологической и горнотехнической ситуации;

– обоснование рациональных параметров крепежной и охранной систем для каждой из групп горно-геологических и горнотехнических условий поддержания повторно используемых выемочных выработок;

– разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров схем поддержания участковых выработок в условиях шахт Западного Донбасса;

– опытно-промышленная проверка и корректировка схем поддержания повторно используемых выработок.

Глава 5 написана совместно с В.Г. Черватуком, компьютерная графика выполнена с М.С. Демидовым.

Авторы выражают глубокую благодарность О.К. Маловой за подготовку рукописи к изданию.

1. МЕТОДОЛОГИЯ СОДЕРЖАНИЯ И СТРУКТУРЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБЛЕМЫ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Основная концепция исследований состоит в обеспечении условий повторного использования выемочных выработок шахт Западного Донбасса ресурсосберегающими технологиями, основанными на современных методах управления проявлениями горного давления и вовлечения самого приконтурного массива в противодействие геомеханическим процессам, сопровождающих ведение очистных и проходческих работ. Реализация принципа ресурсосбережения осуществляется по двум направлениям: упрочнение приконтурных пород системами анкеров с созданием армопородных грузонесущих конструкций; управление опорным давлением в боках выработки охранными системами переменной жесткости.

Содержание и развитие в перспективе проводимых исследований в общем виде представлено структурно-логической схемой (рис. 1.1), состоящей из трех основных блоков, каждый из которых наполняется конкретными расчетно-пояснительными материалами в процессе проведения исследований и опытно-промышленной проверки эффективности рекомендуемых параметров крепежных и охранных систем.

Методологической основой исследований в ракурсе сформулированного выше принципа ресурсосбережения являются следующие положения повторного использования выемочных выработок:

- поддержание выработки на протяжении всего срока ее эксплуатации осуществляется сочетанием различных типов крепежных и охранных систем, набор и параметры элементов которых изменяются в соответствии с характером проявлений горного давления, но имеют преимущество в плане взаимной увязки конструктивных и технологических характеристик управления НДС массива и его упрочнения анкерными креплениями;

- перспективы повторного использования выемочной выработки в значительной степени определяются доминирующим влиянием геомеханических и технологических параметров ведения очистных работ на концевых участках лавы; в этой связи по длине выемочной выработки наиболее сложные для поддержания участки находятся в районе спряжения с лавой и позади очистного забоя – при обеспечении их устойчивого состояния дальнейшее поддержание выработки существенно облегчается с учетом проведения необходимых ремонтно-восстановительных мероприятий;

- опыт поддержания выемочных выработок на шахтах Западного Донбасса подтверждает целесообразность применения опорно-анкерного крепления пород кровли, что используется в работе как одна из составляющих крепежной системы на весь период эксплуатации выработки;

- вместе с тем опорно-анкерное крепление усиливает специфическое для Западного Донбасса явление – выдавливания легкодеформируемых

пород боков и почвы выработки за счет повышенной жесткости угольных пластов и армопородной плиты в кровле («эффект штампа»); эта геомеханическая особенность нейтрализуется применением рамно-анкерной крепи как единой грузонесущей конструкции, обусловленной податливыми механическими связями боковых анкеров со стойками рамы;

– обширные зоны расслоения массива слабых пород кровли угольных пластов Западного Донбасса обосновывают целесообразность его «глубинного» упрочнения канатными анкерами, приближающимися по своей несущей способности к более металлоемкой рамной крепи;



Рис. 1.1. Структурно-логическая схема разработки мероприятий повторного использования выемочных выработок

– для достижения максимального упрочняющего эффекта и ограничения расслоения близлежащего массива предусмотрена установка всех анкерных систем в период проведения выемочной выработки;

– охранные системы переменной жесткости управляют опорным давлением (со стороны выработанного пространства) в направлении разгрузки

приконтурных пород и повышения их устойчивости, что снижает затраты на поддержание выемочной выработки;

– выбор параметров крепежных и охранных систем осуществляется с использованием действующих отраслевых нормативных документов по прогнозу проявлений горного давления в сочетании с результатами научных исследований и опыта работы шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».

Таким образом, общая последовательность реализации исследований основана на сочетании расчетных положений отраслевых нормативных документов, комплекса проведенных научных, проектно-конструкторских и научно-технических разработок по обеспечению ресурсосберегающих условий повторного использования выемочных выработок шахт Западного Донбасса.

Блок I отражает основную направленность использования отраслевых нормативных документов – прогноз параметров проявлений горного давления на всех стадиях поддержания выемочных выработок: от проходческого забоя до погашения.

Эти данные являются исходными параметрами при реализации двух этапов (I.2 и II.1) структурно-логической схемы (см. рис. 1.1). Этап I.2 по параметрам прогноза проявлений горного давления дает общую оценку возможности повторного использования выемочных выработок исходя из горно-геологических условий ее поддержания и применяемых на шахтах Западного Донбасса конструктивно-технологических схем крепления и охраны. Здесь осуществляется предварительное группирование шахтных полей и их участков по ожидаемой технико-экономической эффективности повторного использования выемочных выработок. Одновременно привлечены исследования НДС горного массива, крепежных и охранных систем (этап II.1), шахтные эксперименты по определению рациональных параметров крепежных и охранных систем; осуществлено их совершенствование в соответствии с характером проявлений горного давления. Взаимосвязь этапов I.2 и II.1 состоит в том, что рекомендуемые параметры крепежных и охранных систем корректируют области их целесообразного применения как по геомеханическим, так и технологическим факторам.

Конкретизация рекомендаций в плане окончательного группирования шахтных полей Западного Донбасса по степени сложности повторного использования выемочных выработок (этап I.3) завершается созданием комплекса конструктивно-технологических схем крепления и охраны (этап II.3) для разных условий поддержания выработок.

Результаты выполненных работ по блокам I и II подвергаются опытно-промышленной проверке с постоянным мониторингом на предмет эффективности применения в различных горно-геологических и горнотехнических условиях и после необходимой корректировки разрабатываются базовые технологические схемы (блок III) по выбору параметров поддержания повторно используемых выемочных выработок на шахтах Западного Донбасса.

2. ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ГОРНТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КРЕПЕЖНЫХ СИСТЕМ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ОСОБЕННОСТЯМ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

2.1.1. КРИТЕРИИ ВЫБОРА РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ КРЕПЕЖНЫХ СИСТЕМ

Достаточно обширный опыт эксплуатации выемочных выработок, поддерживаемых комбинацией рамной крепи и опорно-анкерного крепления, а также рамно-анкерной крепью (с конструктивными механическими связями рам и анкером), позволяет оценить эффективность их работы с учетом степени адаптации крепежных систем к характеру проявлений горного давления и его возмущениям, связанным с влиянием очистных работ. С другой стороны, немаловажен ресурсосберегающий фактор уровня вовлечения приконтурного породного массива в работу по противодействию горному давлению, то есть, необходимо дать оценку эффективности упрочнения близлежащих пород в плане формирования вокруг выемочной выработки подобия грузонесущей конструкции с высокой реакцией отпора. В-третьих, возводимая комбинированная крепь из разнородных элементов должна обладать их согласованным режимом работы в процессе сопротивления сдвигу приконтурного углевмещающего массива. В-четвертых, ресурсосбережение напрямую связано с обеспечением условий равнопрочности элементов конструкции, что особенно важно при значительных колебаниях нагрузки во времени и пространстве; поэтому, на передний план выдвигается оценка способности рамно-анкерной крепи к саморегуляции нагрузки пропорционально несущей способности основных грузонесущих ее элементов.

Таким образом, в ракурсе ресурсосбережения анализ эффективности работы существующих крепежных конструкций целесообразно проводить по следующим условиям малозатратного поддержания подготовительных выработок в углевмещающем массиве слабых пород:

- максимально возможный уровень вовлечения приконтурного массива в работу по сопротивлению горному давлению;
- максимальная степень адаптации крепежной конструкции к характеру проявлений горного давления во времени и пространстве;
- уровень согласованности (или синхронности) режимов работы основных грузонесущих элементов крепи;
- максимальная степень равнопрочности крепежной конструкции в поперечном и продольном сечениях выработки за счет перераспределения нагрузки на основные элементы пропорционально их несущей способности.

Существующие конструктивно-технологические решения поддержания выемочных выработок угольных шахт сочетанием рамной и анкерной крепей

целесообразно при анализе разделить на три основные группы [1]:

– сочетание рамной податливой крепи и системы анкеров, устанавливаемых в определенном порядке по контуру выработки, которые конструктивно не связаны между собой и рамой;

– рама и анкера (весь комплект в поперечном сечении выработки или его часть) соединены между собой жесткой связью, не допускающей сколь-нибудь существенное перемещение основных крепежных элементов относительно друг друга [2];

– рама и анкера соединены пространственно-податливыми связями, обуславливающими возможность их взаимного перемещения при возникновении существенной неравномерности проявлений горного давления как в поперечном, так и продольном сечениях выработки [3].

С точки зрения сформулированного выше первого требования ресурсосбережения о максимально возможном уровне вовлечения приконтурных пород в работу по сопротивлению проявлениям горного давления, все три группы анализируемых конструкций вполне его реализуют [1].

С точки зрения второго ресурсосберегающего условия о максимально возможном уровне адаптации к характеру проявлений горного давления, крепежные конструкции рассматриваемых трех групп имеют некоторые отличия. Если в поперечном сечении выработки уровень адаптации конструкции к прогнозируемой эпюре давления можно регулировать плотностью установки анкеров, то в продольном сечении выработки возникают проблемы неравномерного нагружения крепежной конструкции из-за неоднородности массива и локальных проявлений, ослабляющих его факторов. Такие возмущения проявлений горного давления спрогнозировать значительно труднее.

Анализ адаптивных свойств крепежных конструкций к локальным возмущениям проявлений горного давления раскрыт в работе [1]. Первая группа конструкций характеризуется отсутствием механических связей рам и анкеров, которые в области локального возмущения нагрузки деформируются раздельно. На участке повышенного смещения породного контура избыточное перемещение вызывает дополнительное растяжение арматуры анкера, что увеличивает его реакцию сопротивления до некоторого максимума в конкретных условиях, то есть, анкера усиливают противодействие повышенному горному давлению. Находящаяся по соседству рамная крепь деформируется независимо в рамках своей конструктивной податливости, ее сопротивление изменяется мало в этом режиме, а отсутствие связи с анкерами не позволяет увеличить реакцию отпора рамы. В результате, на участке повышенного горного давления увеличение отпора крепежной конструкции реализуется только за счет повышения сопротивления некоторых анкеров, попадающих в эту локальную область. Соседние с ней анкера и рамы не принимают участия в сопротивлении повышенной нагрузке, поэтому, степень адаптации к характеру проявлений горного давления крепежных конструкций первой группы следует оценить как низкую.

Рамно-анкерные крепи с жесткой связью также повышают свое сопротив-

ление в области возмущений горного давления. Причем, рост реакции отпора обусловлен двумя составляющими: увеличение реакции самих анкеров, часть которой передается на раму и увеличение несущей способности самой рамы за счет появления дополнительных опор (по ее контуру) от воздействия анкеров. Данная группа конструкций имеет более высокие адаптивные свойства по отношению к предыдущей, поскольку в работу по сопротивлению повышенному горному давлению включается сразу два основных грузонесущих элемента – рама и анкера. Здесь главным недостатком является то, что изменения параметров силового взаимодействия системы «массив – рама – анкер» в области повышенного горного давления касаются только крепежных конструкций, расположенных в пределах данной локальной области; вне ее ни рамы, ни анкера не участвуют в противодействии повышенным нагрузкам, так как отсутствуют конструктивные связи между крепежными элементами вдоль выработки.

Отмеченных недостатков лишена третья группа конструкций рамно-анкерных крепей, где вдоль выработки анкера и рамы соединены между собой пространственно-податливыми механическими связями. Здесь наблюдается наивысшая (из рассмотренных конструкций) степень адаптации рамно-анкерной крепи к характеру проявлений горного давления. В локальной области повышенной нагрузки возросшая реакция анкеров передается частично на раму в виде усилий, способствующих увеличению ее несущей способности. Но, все рамы вдоль выработки соединены гибкими связями с возможностью их продольного перемещения; тогда усиленное натяжение связей в области повышенного горного давления автоматически передается по стяжкам за пределы области возмущений и значительная группа рамно-анкерных крепей вдоль выработки вовлекаются в работу по противодействию локальному повышению нагрузки.

Таким образом, по фактору адаптивных свойств, предпочтительны конструкции рамно-анкерных крепей с гибкими податливыми связями вдоль выработки [3].

Третье условие ресурсосбережения при поддержании горных выработок рамно-анкерными крепями формулируется как максимально возможная степень согласованности режимов работы анкеров и рам, позволяющая, с *одной* стороны, «уходить» от повышенного горного давления, а, с *другой* – сопротивляться его проявлениям с максимальной реакцией отпора.

Известный механизм [3 – 8] формирования минимальной нагрузки предполагает условие: рамная крепь и анкера должны обеспечить требуемую податливость крепежной конструкции и согласованно (синхронно) изменять реакцию сопротивления в процессе перемещения породного контура выработки. Очевидно, простое сочетание (без конструктивных связей) рам и анкеров не позволяет реализовать данное условие: рамная крепь обладает определенной податливостью в соответствии со своими конструктивными особенностями; анкерная крепь формирует достаточно жесткую породную грузонесущую конструкцию, имеющую малую податливость. По этой причи-

не большая часть нагрузки будет восприниматься более жестким элементом, что может привести к его разрушению и существенной потере общей несущей способности крепежной конструкции.

На наш взгляд, согласование режимов работы рамной крепи и анкеров возможно при их объединении механическими связями; при этом проанализирована работа рамно-анкерной крепи как единой грузонесущей конструкции для вариантов жесткой и податливой связей по их деформационно-силовым характеристикам, схематически представленным на рис. 2.1. Здесь сплошными линиями показаны функции изменения реакции рамной крепи $P(U)$ и сталеполимерного анкера $Q(U)$ в процессе их податливости U под воздействием горного давления как независимых конструкций.

При их объединении жесткой связью (пунктирная линия на рис. 2.1) в начальный период нагружения рамно-анкерной крепи составляющие P и Q реакций рамы и анкеров суммируются и их общий отпор увеличивается по причине роста несущей способности рамы с дополнительными опорами (по ее контуру) от воздействия жестких связей. Далее, с ростом перемещений U породного контура, сопротивление сталеполимерного анкера, впрочем, как и многих других конструкций

беззамковых анкеров, начинает снижаться из-за разрушения части контакта арматуры анкера с породными стенками шпура. Этот процесс обусловлен небольшой податливостью беззамковых анкеров (наиболее распространенных в практике крепления выработок), которая по данным многочисленных испытаний обычно не превышает нескольких десятков миллиметров в пределах упругих деформаций стержня. По причине весьма ограниченной податливости анкеров (многократно меньшей, чем у рамной крепи) общая реакция рамно-анкерной крепи снижается с увеличением перемещений U породного контура и в дальнейшем стабилизируется на уровне сочетания сопротивления рамы в режиме податливости, плюс действие реакции анкеров (дополнительные опоры) при больших перемещениях за счет остаточного трения арматуры о породные стенки шпура.

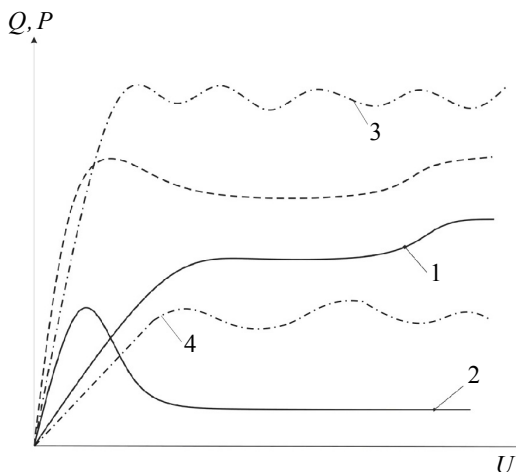


Рис. 2.1. К обоснованию повышения реакции сопротивления рамно-анкерной крепи с пространственно-податливыми связями; деформационно-силовые характеристики:
— рамы (1) и анкера (2); - - рамно-анкерной крепи с жесткой связью;
- · - · рамно-анкерной крепи с податливой связью (3) и податливого анкера (4)

Более полно потенциальные возможности рамно-анкерной крепи (в плане повышения ее реакции сопротивления в податливом режиме работы) раскрываются при создании пространственно-податливых связей рам и анкеров. Здесь также присутствует эффект увеличения несущей способности рамы при создании дополнительных опор, но он усиливается за счет особенностей работы податливых связей. Сущность процесса заключается в следующем. При смещении породного контура деформирующаяся рама через гибкую (податливую) связь передает усилия на соседний анкер, стремящиеся его «извлечь» из шпура – так называемые «выдергивающие» усилия. Анкер сопротивляется им при небольшой податливости до момента исчерпания своей несущей способности (см. рис. 2.1, штрихпунктирные линии 4). На данном участке роста сопротивления анкера податливые свойства его конструкции дополняются податливостью гибкой связи так, что суммарная величина податливости увеличивается. По достижении максимальной реакции анкера происходит ее снижение (по мере роста перемещений породного контура) и логично предположить, что натяжение гибкой связи ослабевает – соответственно уменьшается ее реакция на стойку. Но, ослаблению натяжения гибкой связи препятствуют другие анкера, которые еще не находятся на «пике» своей реакции сопротивления. Поэтому, происходит саморегулирование «выдергивающих» усилий между целой группой анкеров вдоль выработки, соединенных общей гибкой связью: как только какой-либо анкер испытывает повышенные нагрузки в локальной области, благодаря податливой связи включаются соседние недогруженные анкера и так далее по всей длине механической связи. Таким образом, снижение реакции сопротивления отдельного анкера в податливом режиме сразу же компенсируется соседними анкерами и рамно-анкерная крепь в целом достигает эффективного податливого режима постоянно высокого сопротивления, превышающего таковое для крепежных конструкций предыдущих групп.

В итоге, и по третьему критерию ресурсосбережения рамно-анкерные крепи с пространственно-податливыми связями имеют неоспоримые преимущества.

Четвертый критерий ресурсосбережения, касающийся уровня достижения условия равнопрочности основных несущих элементов, тесно связан с предыдущим критерием. Сущность условия равнопрочности заключается в перераспределении усилий в рамно-анкерной крепи пропорционально несущей способности каждого элемента и целесообразно, чтобы это перераспределение выполнялось автоматически в процессе сопротивления грузонесущей конструкции проявлениям горного давления. Равнопрочная конструкция всегда будет иметь преимущество по соотношению «несущая способность-материалоемкость» и здесь имеет смысл сравнить только две группы рамно-анкерных крепей – с жесткой и податливой связями. Жесткая связь рамы и анкеров не допускает какого-либо перераспределения усилий по своей природе. Например, при небольших перемещениях породного контура образуются ограниченный объем неустойчивых пород и рама остается

недогруженной; в то же время данной величины перемещений достаточно для нарушения части контакта арматуры анкера с породными стенками шпура и анкер теряет часть своей реакции сопротивления – получается один элемент конструкции недогружен, а второй перегружен с частичным разрушением. С другой стороны, при повышенных перемещениях породного контура рама работает в податливом режиме и полностью загружена; благодаря жесткой связи с анкерами она «выдергивает» арматуру из шпура, приводя к разрушению анкера частично или полностью, что также нежелательно. Следовательно, на протяжении всего периода силового взаимодействия системы «массив-рама-анкер» требуется поддержание процесса саморегуляции усилий пропорционально несущей способности анкеров и рам, что реализуется за счет создания пространственно-податливых связей между ними. Действительно, нагрузка на отдельный анкер в процессе нагружения, не превышая величину его несущей способности, перераспределяется благодаря гибким связям на соседние анкера, и этот процесс происходит автоматически за счет проскальзывания соединительного элемента относительно хвостовика анкера. С другой стороны, рама, перешедшая в режим податливости, не «выдергивает» соседние анкера благодаря запасу податливости гибких связей в направлении перемещения рассматриваемого участка рамы.

В заключение анализа конструкций и режимов работы рамно-анкерных крепей можно сделать только один очевидный вывод о наибольшем соответствии ресурсосберегающим критериям поддержания выемочных выработок конструкций рамно-анкерных крепей с пространственно-податливыми связями, обеспечивающих в процессе нагружения саморегуляцию режимов взаимодействия элементов системы «массив – рама – анкер».

2.1.2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ И АДАПТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА РАМНО-АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Исследования проявлений горного давления в выемочных выработках шахт Западного Донбасса проводились на протяжении многих десятилетий [3 – 14] и дополнили друг друга в части выявления различных аспектов одной и той же закономерности – нарастания перемещений породного контура выработки по мере приближения очистного забоя. Современные технологии поддержания выемочных выработок с широкомасштабным применением опорно-анкерного крепления при высоких скоростях подвигания очистного забоя выявили ряд особенностей проявления горного давления, сущность которых сводится к следующему [1, 5, 15, 16]. *Во-первых*, величины сближений боков выработок достигают, а иногда и превосходят сближение их кровли и почвы. *Во-вторых*, происходит активное выдавливание пород почвы, величина которого приближается к опусканию пород кровли вне зависимо-

сти от степени влияния очистных работ. С точки зрения геомеханики процесса взаимодействия крепежной системы с приконтурным массивом данные особенности получили название «эффект штампа», сущность которого заключается в выдавливании пород боков и почвы выработки (под воздействием опорного давления) более жесткими образованиями – угольным пластом и упрочненной опорно-анкерной крепью породной плитой в кровле выработки. В соответствии с таким характером проявлений горного давления рекомендовано [1, 3 – 5, 15, 16] направление многократного увеличения боковой реакции рамной крепи (слабо сопротивляющейся боковой нагрузке) за счет создания пространственно-податливых связей между стойками рам и боковыми анкерами. Это в определенной мере адаптирует деформационно-силовую характеристику рамно-анкерной крепи к повышенной боковой нагрузке и существенно ограничивает как сближение боков выработки, так и сближение пород кровли и почвы, что в целом улучшает состояние выемочных выработок. Но, такой вариант крепежной системы пока еще находится в стадии промышленного эксперимента; чаще встречаются первые две группы сочетания рамной и анкерной крепей, указанные в § 2.1.1.

Обследование выемочных выработок на разных шахтах Западного Донбасса позволило оценить состояние крепежных систем (первых двух групп) следующим образом. Замки рамной крепи в разных горно-геологических условиях срабатывают на величину конструктивной податливости до 300 мм в 80 – 90% обследованных комплектов для более устойчивых вмещающих пород и в 50 – 70% рам, установленных в менее устойчивых породах. В остальных случаях происходит их разрушение, наблюдаются пластические деформации и кручение СВП. На наш взгляд, относительно небольшая величина конструктивной податливости (с учетом условий Западного Донбасса) обеспечивает целостное состояние замков по двум основным причинам:

- увеличение реальной вертикальной «податливости» рамы за счет вдавливания стоек в породы почвы;

- выполаживание верхняка при его пластическом деформировании, обусловленным ограничением режима податливости замков.

Последнее происходит за счет установки упорных хомутов на верхней границе замков податливости, которые увеличивают сопротивление рамы вертикальным нагрузкам, то есть, ужесточают ее режим работы – нагрузка растет и вызывает пластическое деформирование верхняка. В этом же направлении (повышения жесткости рамы) работает конструктивное решение (10 – 15% проанализированных схем крепления) по установке спаренных анкеров (через фигурную планку хомута), фиксирующих концы верхняка относительно породного контура выработки. Такое жесткое закрепление конца верхняка преследует цель обеспечения его устойчивости при демонтаже стойки на сопряжении с лавой без традиционной установки гидростоек под верхняка. Однако, имеется отрицательный опыт применения такого конструктивно-технологического решения на шахтах Западного Донбасса, приводящий к значительным деформациям СВП в месте жесткого закрепления, его

кручению и потере устойчивой формы как только смещения породного контура в районе рассматриваемого участка достигнут нескольких сотен миллиметров. Поэтому, считаем нецелесообразным установку спаренных анкеров, жестко связанных с рамной крепью, на любом участке ее контура.

Оценивая в целом состояние рамной крепи, выделено два основных влияющих фактора: обследуемый участок поддержания выемочной выработки в плане разной интенсивности влияния очистных работ и степень устойчивости вмещающих пород. Подавляющее большинство обследованных выработок находятся в устойчивом состоянии вне зоны влияния очистных работ. Такое же состояние наблюдается в зоне опорного давления впереди лавы для группы шахт, расположенных в восточной части региона (например, «Степная», «Юбилейная» им. Н.И. Сташкова). Здесь наблюдается только повышенная интенсивность пучения почвы, которую, как правило, подрывают за 80 – 100 м до подхода лавы. При неустойчивых вмещающих породах (например, «Западно-Донбасская», им. Героев Космоса) в зоне опорного давления впереди лавы отмечается повышенные сближения кровли и почвы, а также боков выработки; исчезают зазоры в закрепном пространстве, деформируются под нагрузкой верхняк и стойки рамы, которые разрушаются в усилении. Те же проявления горного давления отмечаются в условиях более крепких, но обводненных пород непосредственных кровли и почвы.

По мере подхода лавы более всего деформируются стойки рамы на уровне угольного пласта и глубины подрывки непосредственной почвы, где в условиях слабых пород происходит кручение и пластический изгиб стоек, не совместимые с их устойчивым состоянием. В этих условиях особенно актуальна технология усиления рам с помощью установки боковых анкеров и их соединения податливыми связями (например, канатом) со стойками рамы. На указанном участке активно влияют на устойчивость рамной крепи другие средства ее усиления, например, деревянные или инвентарные стойки усиления под верхняк. Однако, нередко наблюдаются случаи перегиба верхняка в месте его контакта со стойкой усиления, если последняя имеет недостаточную податливость; на этом участке верхняка развиваются пластические деформации стали и происходит его кручение, что стабильно подтверждают многочисленные эксперименты [16]. Таким образом, помимо загромождения сечения выработки, неоправданная жесткость стоек крепи усиления вызывает изменение формы верхняка и частичную потерю несущей способности.

В зоне опорного давления впереди лавы в более устойчивых породах верхняки рам деформируются преимущественно без изменения первоначальной формы, то есть, вполне справляются с вертикальной нагрузкой, чему в немалой степени способствует опорно-анкерное крепление и крепь усиления; стойки рам более нагружены и в среднем 20 – 40% от их общего количества имеют нарушения первоначальной формы и требуют усиления в боковом направлении. В более слабых породах потеря первоначальной формы рам носит распространенный характер (от 30 – 40% до 60 – 70%). Бока выработки однозначно нуждаются в интенсивном анкерном упрочнении на уровне как

непосредственной кровли, так и почвы угольного пласта с соединением канатом стоек рам и боковых анкеров. Причем это усиление должно быть дифференцированным в соответствии с меняющимся характером проявлений горного давления по мере приближения очистного забоя.

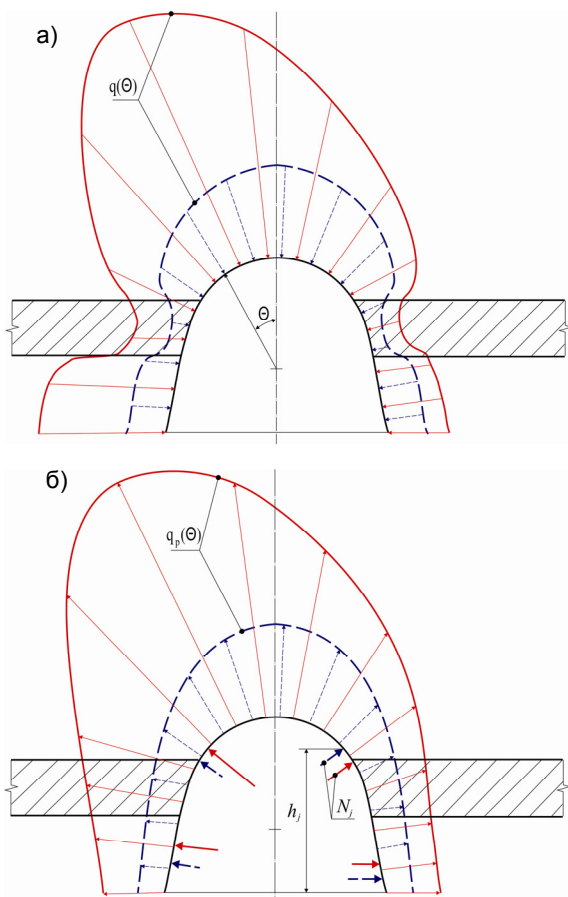


Рис. 2.2. Схематическое представление о возможностях адаптации реакции отпора $q_p(\theta)$ рамно-анкерной крепи нагрузке $q(\theta)$ вне зоны влияния очистных работ (---) и в зоне опорного давления (—) впереди лавы: а) эпюра $q(\theta)$; б) эпюра $q_p(\theta)$

Шахтные наблюдения и серии вычислительных экспериментов [1, 15, 16] указывают на более интенсивное развитие проявлений горного давления со стороны приближающегося очистного забоя: именно со стороны рабочего борта выработки преобладают перемещения породного контура и в большей степени деформируется рамная крепь. Наблюдается формирование асимметричного характера нагружения крепежных систем, усиливающегося с подходом очистного забоя, что в качественном плане проиллюстрировано на рис. 2.2. Вне зоны влияния очистных работ нагрузка на крепежную систему распределяется симметрично относительно вертикальной оси выемочной выработки (пунктирные линии на рис. 2.2, а) и этой эпюре $q(\theta)$ в наибольшей степени соответствует симметричная эпюра реакции рамно-анкерной крепи с соответствующими координатами h_j

установки анкеров и усилиями N_j их воздействия на раму (пунктирные линии на рис. 2.2, б). Тип СВП рамной крепи и шаг L ее установки вдоль выработки, параметры N_j и h_j анкерной крепи подбираются по величине дей-

ствующей симметричной нагрузки $q(\theta)$. В зоне опорного давления впереди очистного забоя изменяется величина и характер распределения нагрузки на крепежную систему (сплошные линии на рис. 2.2, а). В этих условиях процесс адаптации реакции $q_p(\theta)$ рамно-анкерной крепи под эпюру $q(\theta)$ нагрузки не вызывает принципиальных затруднений – необходимо изменить параметры N_j и h_j , чтобы суммарная реакция отпора рамно-анкерной крепи была подобна эпюре нагрузки с некоторым превышением по своей величине на заданный запас устойчивости. В практическом плане анкера устанавливаются и рассчитываются с параметрами N_j и h_j под наиболее опасный участок поддержания выработки в районе сопряжения с очистным забоем, а вне зоны влияния очистных работ устойчивость выработки будет обеспечена тем более.

Таким образом, конструктивное решение рамно-анкерной крепи с пространственно-податливыми связями [3 – 5] обладает наибольшими возможностями адаптации к характеру проявлений горного давления в выемочных выработках и взята как базовая конструкция крепежной системы, а обоснование ее ресурсосберегающих параметров является основной задачей исследований.

Здесь необходимо отметить еще один момент, касающийся адаптивных свойств рамно-анкерной крепи как единой грузонесущей системы. В зоне опорного давления впереди очистного забоя происходит рост и без того немалых перемещений породного контура выемочной выработки, в процессе которого необходимо сохранить требуемую реакцию сопротивления N_j анкеров. Поэтому представляется целесообразным устанавливать в боках выработки конструкции анкеров с деформационно-силовой характеристикой, приближающейся к режиму постоянного сопротивления. Тогда стабильность требуемой реакции отпора рамно-анкерной крепи и ее адаптивные свойства будут обеспечены максимально вне зависимости от особенностей проявлений горного давления на разных участках выемочной выработки. В этом плане наиболее перспективной конструкцией является анкер с распорным эластичным замком [8, 14, 17, 18], прошедший достаточно широкую апробацию в шахтных условиях [14, 19]. В процессе испытаний был подтвержден режим практически постоянного сопротивления анкера при величине податливости в несколько сотен миллиметров, а также выявлена простота и технологичность процесса регулировки требуемой реакции сопротивления N_j в податливом режиме. Поэтому принята за базовую крепежную систему конструкция рамно-анкерной крепи с установкой в боках выработки анкеров с распорным эластичным замком, соединенных пространственно-податливыми связями со стойками рамной крепи. Данный объект исследований в наибольшей степени отвечает поставленной цели – ресурсосберегающее поддержание выемочных выработок в условиях шахт Западного Донбасса.

2.2. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ И ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Роль и воздействие крепи на окружающий выработку породный массив по-разному отображается в геомеханических моделях. В механике горных пород обычно выделяют три схемы расчета крепи: по заданным нагрузкам; по заданным перемещениям породного контура выработки и их комбинации. Каждый из подходов имеет свои позитивные и негативные стороны, которые рассмотрены с прежней точки зрения – поиска сочетания эффективности и доступности прогнозирования проявлений горного давления.

Принципы расчета по заданным нагрузкам выделяют главную функцию крепи – восприятие веса отслоившихся приконтурных пород. Здесь стоит основная задача прогнозирования проявлений горного давления – определить размеры области неустойчивых пород, а воздействие самой крепи не принимается во внимание. Данный подход берет начало от теории свода естественного равновесия проф. М.М. Протоdjаконова [20] и сочетания свода в кровле и призм сползания в боках выработки по проф. П.М. Цимбаревичу [21]. Высокая степень идеализации процесса взаимодействия крепи с породным массивом дала импульс к развитию и совершенствованию отмеченных представлений в направлениях:

- учета реакции крепи на изменение НДС приконтурных пород; исследования проф. В.В. Виноградова [22] показали, что так называемыми «малыми воздействиями» (реакция крепи обычно на полтора-два порядка ниже действующих в массиве напряжений) возможно вывести часть объема пород из неустойчивого состояния и снизить, тем самым, нагрузку на крепь; это положение подтверждено и развито в работах проф. Г.А. Симановича [4] (плоская задача предельного равновесия разупрочненного массива вокруг выработки) и проф. И.А. Ковалевской [5] (пространственная задача предельного равновесия);

- учета влияния режима работы крепи (жесткий, податливый и их комбинация) на изменение размеров областей неустойчивых пород, соответствующей величины нагрузки и эпюры ее распределения по контуру выработки;

- совершенствования схем определения поверхностей скольжения разупрочненных и разрушенных приконтурных пород, создающих своим весом нагрузку на крепь.

Эти направления приблизили геомеханические модели к реальному механизму формирования нагрузки на крепь и эффективным методам ее регулирования в соответствии с характером проявлений горного давления. В результате сформировался комбинированный принцип расчета по заданным нагрузкам и перемещениям, алгоритм которого реализуется в два этапа:

- рассчитывается НДС массива в окрестности горной выработки и в соответствии с выбранной теорией прочности горных пород определяются размеры областей их неустойчивого состояния;

– используя определенные схематические представления или методы статистики сыпучей среды [23 – 26], определяются поверхности скольжения несвязного материала внутри областей неустойчивых пород с конечным результатом – расчет эпюры нагрузки на крепь по контуру выработки.

Отдельные фрагменты гипотез свода и комбинированного принципа расчета нагрузки на крепь заложены в современных руководящих документах по прогнозированию проявлений горного давления и выбору параметров крепи горных выработок. Это лишний раз подтверждает актуальность совершенствования и конкурентоспособность аналитико-экспериментальных методов отражения геомеханических процессов в сравнении с новейшими технологиями их компьютерного моделирования [27 – 30]. Последние чрезвычайно интересны и перспективны в части повышения адекватности описания взаимодействия элементов системы «массив – крепь – охранная полоса»:

– точное отражение реальных геометрических параметров выработки и конструкции крепи;

– моделирование реальных полных диаграмм деформирования крепежных материалов;

– адекватное описание деформационно-силовой характеристики крепи;

– определение НДС каждого элемента крепежной и охранной систем напрямую без промежуточного расчета активной и реактивной нагрузки на крепь, изгибающих моментов, нормальных и перерезывающих сил и т.п.

Вместе с тем, имеется и ряд трудностей в проведении адекватного реального условиям вычислительного эксперимента:

– эпюра и величина напряжений в крепи весьма зависима от условий на контакте с породным контуром выработки: незначительные на первый взгляд изменения геометрических и механических параметров контактирующих поверхностей (с учетом или без промежуточной среды) могут привести к существенным преобразованиям НДС крепи, что требует высокой квалификации исследователя при построении и расчете геомеханических моделей;

– в каждом программном продукте существует стандартный и ограниченный набор схем закрепления анкеров в шпурах, которые не всегда отражают реальный механизм взаимодействия анкерной крепи (различных конструкций) с породным массивом;

– при моделировании узлов податливости рамной крепи часто происходят сбои в процессе расчета из-за неустойчивости системы при взаимном перемещении крепежных элементов;

– расчет системы «массив – крепь» не вызывает затруднений при упругой постановке задачи; с усложнением ее физической модели (упруго-пластическое и запредельное состояния, реология, трещиноватость и т.п.) существенно возрастает требуемый вычислительный ресурс и время проведения расчета.

В свете изложенных позиций о моделировании геомеханических процессов в окрестности горных выработок и прогнозировании их устойчивости

проанализированы существующие подходы к расчету рациональных параметров крепежных систем (комбинация рамной и анкерной крепи), проецируя их на рассматриваемый объект исследований – выемочные выработки в зоне влияния очистных работ.

Данная область, как и большинство задач геомеханики, разрабатывается различными методами исследований (аналитическими, экспериментально-аналитическими, численными и их комбинациями), что вполне закономерно и зависит от приоритетности той или иной стороны поставленной задачи. В плане существующих подходов можно выделить следующие направления.

Первое – поиск параметров анкерного упрочнения приконтурного массива, обеспечивающих устойчивое состояние выработки (опорно-анкерное крепление), где рамной крепи отводится второстепенная роль некоторого «запасного» элемента на случай возникновения какой-либо аномалии горного давления. Основная предпосылка – опорно-анкерное крепление создает армопородную конструкцию вокруг выработки с несущей способностью, достаточной для противодействия силам горного давления; поэтому рамная крепь в расчете не участвует. Основоположниками этого направления считаются работы проф. Булата А.Ф. и проф. Виноградова В.В. [31, 32], хотя можно вспомнить и более ранние работы проф. Семевского В.Н., проф. Борисова А.А., проф. Широкова А.П. [33 – 35] и многих других, в которых система анкеров рассматривается как единственный и безальтернативный способ крепления горных выработок. Среди последних работ этого направления можно отметить исследования [36, 37]. Здесь используется как вычислительный эксперимент, так и аналитические исследования с привлечением шахтных экспериментов. Такой подход, по нашему мнению, неоднозначен с точки зрения стратегии ресурсосбережения: с одной стороны применение анкеров существенно сокращает материальные и трудовые затраты при поддержании горных выработок, но, с другой – технологические схемы предусматривают установку рамной крепи, что сводит к минимуму экономический эффект. Естественно, при таком подходе не рассматриваются вопросы взаимодействия рамной крепи с анкерами в единой грузонесущей системе, и тем более остаются в стороне вопросы оптимизации напряженного состояния рам с помощью изменения параметров установки анкеров.

Второе направление является прямой противоположностью первому и заключается в рассмотрении рамно-анкерной крепи как единой грузонесущей системы, где каждый из крепежных элементов влияет на остальные, в том числе и на вмещающий массив. Здесь следует выделить работы проф. Ковалевской И.А. и проф. Симановича Г.А. [4, 5, 8, 14, 18, 38], в которых на базе аналитических исследований с привлечением корреляционно-дисперсионного анализа результатов многовариантных вычислений разработана методология расчета НДС многослойных разнородных крепежных систем (в том числе и рамно-анкерной крепи), параметры которых анализируются на основе комплекса критериев равнопрочности конструкции в целом, что тождественно достижению ее максимальной несущей способности в конкретных условиях

нагружения. Такой подход, с одной стороны, практически полностью удовлетворяет сформулированным положениям стратегии ресурсосбережения, но, с другой стороны, его допущения и идеализации не позволяют в полной мере использовать методы для условий поддержания выемочных выработок и, особенно, в Западном Донбассе. Речь идет о следующем:

– *во-первых*, анализируемые исследования проведены для однородного массива, вмещающего выработку; поэтому эпюра нагрузки не имеет резких перепадов, обусловленных различной глубиной разупрочнения разных литотипов, а представляет собой «гладкую» функцию;

– *во-вторых*, решения получены для выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ; поэтому эпюра нагрузки на крепезную систему симметрична относительно вертикальной оси выработки;

– *в-третьих*, методы предполагают достаточно большой объем вычислений и требует определенных навыков при проведении геомеханических расчетов, особенно, при исходных данных, отличающихся от очерченных в данных работах.

Выявленные недостатки аналитических расчетов рамно-анкерной крепи и поиска ее рациональных параметров пытаются устранить исследования [3, 15, 16, 39, 40], построенные на серии вычислительных экспериментов с применением современных компьютерных программ. Однако, здесь возникают определенные трудности:

– высокие трудоемкость и временной ресурс по проведению многовариантных расчетов НДС рамно-анкерной крепи и окружающего массива для установления связи компонент напряжений с горно-геологическими и горно-техническими условиями поддержания выемочных выработок;

– аналогичные проблемы при поиске рациональных параметров рамно-анкерной крепи путем перебора многочисленных вариантов самой крепезной системы.

Третье направление характеризуется использованием более простых расчетных методов строительной механики (для исследования состояния рамно-анкерной крепи) в сочетании с экспериментально-аналитическими методиками определения нагрузки на крепезную систему. Здесь можно отметить работы [1, 41 – 46], положительными чертами которых являются:

– достаточно достоверный прогноз нагрузки на крепезную систему, обусловленный применением широко апробированных расчетных положений руководящих нормативных документов [47 – 52];

– использование для расчета рамно-анкерной крепи методов строительной механики позволяет получить выражения по определению изгибающих моментов, нормальных и перерезывающих сил, которые затем вводятся в критерии оптимизации параметров установки анкеров; это позволяет произвести поиск рациональных параметров в замкнутом виде, что, в конечном итоге, обеспечивает разработку доступного инженерного метода расчета параметров рамно-анкерной крепи в различных горно-геологических и горнотехнических условиях поддержания выработок.

Таким образом, накопленные к настоящему времени исследования в области повышения устойчивости выемочных выработок определили приоритетное, на наш взгляд, направление – использования рамно-анкерной крепи с пространственно-податливыми связями как крепежной системы, наиболее полно адаптирующейся к характеру проявлений горного давления, изменяющегося по мере приближения очистного забоя. В понятие «адаптация» мы вкладываем смысл высоких потенциальных возможностей конструкции по регулированию ее сопротивления в соответствии с меняющейся горно-геологической ситуацией в окрестности выемочных выработок с одновременным приближением к состоянию равнопрочности, что тождественно двум позициям: достижение максимальной несущей способности при неизменных затратах, либо экономия ресурсов при сохранении несущей способности на прежнем уровне. Поэтому основное направление исследований состоит в раскрытии этих потенциальных возможностей на базе установленного комплекса закономерностей взаимодействия элементов крепежной и охранной систем между собой и с вмещающим приконтурным породным массивом.

3. ОПЫТ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

3.1. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АНКЕРНЫХ КРЕПЕЙ

На любой угольной шахте из сети многочисленных горных выработок выемочные имеют наибольшую суммарную протяженность и, как правило, наиболее тяжелые условия поддержания, обусловленные двумя основными факторами:

– крайне неоднородная структура близлежащих пород с наличием трещиноватости, плоскостей ослабления и зачастую обводненного состояния пород кровли и почвы;

– влияние очистных работ в виде формирования зоны опорного давления как впереди, так и позади движущейся лавы до полной отработки выемочного участка.

Вместе с тем, выемочные выработки занимают ключевую позицию в части обеспечения бесперебойной работы высоконагруженных очистных забоев и снижения общих затрат на добычу угля. С этих позиций представляет интерес мировой и отечественный опыт поддержания пластовых выработок, накопленный на протяжении многих десятилетий, являющийся неоспоримой истиной и указывающий направление поиска ресурсосберегающих технических решений.

Наиболее широко применяемые крепежные системы выемочных выработок включают, как правило, две основные составляющие – рамную податливую крепь и анкера, используемые как самостоятельный вид крепи, так и в виде различных комбинаций друг с другом вплоть до формирования единой грузонесущей конструкции с наличием силовых связей между собой; последнее направление в настоящее время считается весьма перспективным. Что касается применения металлической рамной податливой крепи арочной формы, то она является основным видом крепи выемочных выработок на протяжении уже более полувека [53 – 56] с неизменными относительными объемами применения от 60% до 90% как в отечественной, так и зарубежной практике в разные периоды развития угледобычи в большинстве геолого-промышленных регионов мира. На шахтах Украины для поддержания выемочных выработок доминирующее распространение получила арочная трехзвенная конструкция КМП-А3 (до 89%), а в Западном Донбассе почти 83% выработок закреплено шатровой разновидностью – крепью КШПУ [54, 56]. Тем не менее, несмотря на столь большие объемы применения, указанные конструкции крепей далеко не всегда справляются с высоким горным давлением, особенно, в зоне влияния очистных работ [54, 57, 58] и требуют регулярного усиления теми или иными крепежными элементами.

Второй основной составляющей крепежных систем выемочных выработок в зарубежной практике и в последние десятилетия в отечественной являются анкера. В этом плане лидирующие позиции занимают США, где анкерные системы сыграли решающую роль в революционных преобразованиях горнодобывающей промышленности послевоенного периода. По оценкам Горного бюро США более 90% выработок угольных шахт закрепленного анкерами [59, 60]: в настоящее время устанавливается около 120 млн. анкеров в год для поддержания порядка 25 тыс. км пластовых выработок.

В других угледобывающих странах в вопросах надежного и ресурсосберегающего поддержания горных выработок акцент делается в пользу неуклонно расширяющихся объемов применения анкерной крепи. Так, на шахтах ЮАР устанавливается свыше 16 млн анкеров ежегодно. В Германии имеется полувековой опыт применения анкерной крепи на угольных шахтах: порядка 25% всех выемочных выработок поддерживаются комбинацией рамной крепи и анкеров, а более 10% закреплено исключительно анкерными системами [61, 62]. На шахтах Великобритании достигнуто существенное снижение себестоимости добычи угля за счет повсеместного внедрения анкерного крепления горных выработок [63].

Самый крупный производитель угля среди стран СНГ – Российская Федерация – также активно внедряет анкерные технологии поддержания горных выработок, особенно, на шахтах Кузбасса и Ростовской области. На некоторых приватизированных угледобывающих предприятиях объемы анкерного крепления подготовительных выработок достигают 95% от общего объема их проведения. В настоящее время на шахтах Российской части Донбасса поддерживается 138 выработок общей протяженностью 152 км, в которых анкерная крепь является единственной грузонесущей системой [64].

Мировой опыт убедительно свидетельствует, что применение анкеров существенно повышает безопасность горных работ [65], резко снижает стоимость крепления горных выработок, в том числе выемочных, улучшает их состояние в плане устойчивости и создает необходимые условия для достижения максимально возможных нагрузок на очистные забои. Перечисленные достоинства анкерной крепи обусловили ее доминирующее распространение в основных угледобывающих странах; для некоторых из них относительные объемы применения приведены на рис. 3.1.

На угольных шахтах Украины объемы применения анкерной крепи были относительно невелики, особенно, в выемочных выработках, а их установка носила эпизодический характер. Однако, ситуация коренным образом изменилась после введения в 1998 году Минуглепромом Украины отраслевой программы «Анкер». В этом плане лидирующее положение занимает Западный Донбасс, где на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» неуклонно растут объемы применения сталеполлимерных анкеров (рис. 3.2), причем, подавляющая часть устанавливается (в сочетании с рамной крепью) именно в выемочных выработках (до 70% от общей протяженности).

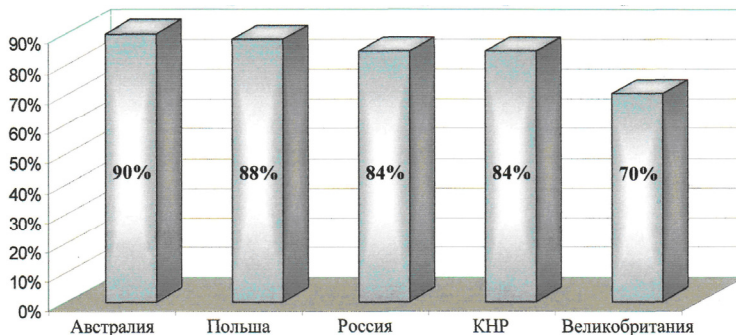


Рис. 3.1. Относительные объемы применения анкерной крепи для поддержания горных выработок

За последнее десятилетие в Западном Донбассе накоплен значительный опыт поддержания выемочных выработок с учетом высоких скоростей подвигания очистных забоев, когда экономичность крепежных систем и малозатратные концевые операции технологии очистных работ особенно актуальны в общей стратегии ресурсосбережения. Анализ состояния выемочных выработок показывает, что в разных горно-геологических условиях эффективность применения опорно-анкерного крепления неодинакова в силу меняющейся интенсивности проявлений горного давления.

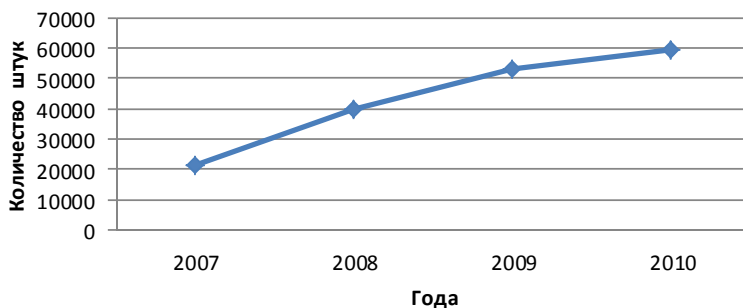


Рис. 3.2. Рост объемов применения анкерной крепи на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

3.2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ КРЕПЕЖНЫХ СИСТЕМ

Подавляющее большинство обследованных крепежных систем выемочных выработок включает следующие *основные элементы*: рамная крепь КШПУ, опорно-анкерное крепление, центральные стойки крепи усиления, устанавливаемые в зоне опорного давления впереди очистного забоя, и бо-

ковые стойки крепи усиления, возводимые у рабочего борта выемочной выработки на сопряжении с лавой.

Рамная крепь КШПУ преимущественно двух типоразмеров (КШПУ-11,0 – 30 – 35% и КШПУ-11,7 – 55 – 60%, 5 – 10% – другие типоразмеры) устанавливается с шагом 0,8 м (60 – 65%), и 1,0 м (35 – 40%), а межрамное пространство затягивается металлической сеткой.

Комплект рамной крепи не предусматривает установку опорных плит (подпятников) под стойки, что, на наш взгляд, являются обязательным в условиях Западного Донбасса из-за слабых пород почвы, зачастую обводненных. Исследования показывают, что вдавливание стоек в почву выработки может достигать нескольких сотен миллиметров и в среднем составляет 30 – 100% от «истинной» величины пучения пород почвы. Таким образом, применяя подпятники, можно существенно ограничить сближение кровли и почвы и сохранить остаточное сечение выработки большей площади.

В период проведения выемочной выработки расклинивание рамы производят только на участках замковых соединений, что также далеко не всегда имеет место на практике. Зазор между рамой и породным контуром изменяется в основном в диапазоне 100 – 200 мм и часто не забучивался породой, а это по нормам СОУ 10.1.00185790.011:2007 соответствует коэффициенту динамичности $\kappa_d = 2,4 – 2,6$. Следовательно, в случае внезапного обрушения части пород кровли (например, при периодической посадке основной кровли в выработанном пространстве) нагрузка на крепь возрастает в среднем в 2,5 раза и приводит к пластическим деформациям рамы даже при вмещающих породах повышенной крепости.

Вторым основным элементом крепежной системы является опорно-анкерное крепление, которое применяется в 65 – 70% проанализированных схем крепления выемочных выработок. Схемы размещения анкеров таковы, что в подавляющем большинстве упрочняется непосредственная кровля угольного пласта и только в 7% проанализированных вариантов производится установка анкеров в берме выработки на высоте 0,3 – 1,0 м от ее почвы. В то же время, неудовлетворительное состояние стоек рам, разрушение и выдавливание пород бермы наблюдается гораздо чаще, особенно, позади лавы; более того, деформация стоек по высоте бермы отмечается в достаточно устойчивых породах. Поэтому целесообразно проведение следующих мероприятий:

– установка боковых анкеров в берме выработки на высоте 0,4 – 0,8 м от почвы (в зависимости от глубины подрывки); их длина изменяется от 2,0 м в более устойчивых породах непосредственной почвы пласта до 2,8 м – в неустойчивых;

– соединение боковых анкеров со стойками рам канатами, которые обеспечивают дополнительную пространственно-податливую опору, исключаящую перегиб стоек в месте их контакта с канатом. При этом на сборном штреке демонтаж и последующий монтаж стоек рамы в районе сопряжения с лавой не вызывает каких-либо затруднений, а на бортовом штреке (в период

его повторного использования) такая операция отсутствует, так как приводная головка забойного конвейера размещается на берме.

В кровле выработки количество устанавливаемых анкеров изменяется от 3 до 9 штук (рис. 3.3 и 3.4) при достаточном разнообразии схем их расположения. Прежде всего следует отметить общее повышение устойчивости выработок за счет применения опорно-анкерного крепления. Это утверждение доказано на примере выработок, где по организационным причинам опорно-анкерное крепление выполнено только на части их длины. Сравнение участков выработок с опорно-анкерным креплением и без него указывают на существенное ограничение опускания кровли, особенно, после прохода лавы, что позволило снизить потерю сечения до 30 – 50%; этот эффект более весомо проявляется в неустойчивых породах.

Максимальное количество анкеров в кровле (8 – 9 шт.) установлено в повторно используемых выемочных выработках при отработке пластов C_1 и $C_4 + C_4^H$ шахтой «Павлоградская», где углевмещающий массив можно охарактеризовать как среднеустойчивый. Из шести проанализированных выработок все сохранили достаточную (для повторного использования) величину остаточного сечения за счет ограничения опускания кровли и подрывки почвы после прохода лавы.

Минимальное количество анкеров в кровле (3 шт.) применяется при отработке пласта C_5 на шахте «Самарская», где они установлены по одной и той же схеме: со стороны лавы – два сближенных (расстояние до 0,5 м) анкера под углом 30 – 45°; со стороны нетронутого массива – один анкер на расстоянии 0,3 м от пласта под углом 30 – 35° (см. рис. 3.3). Эти анкера призваны упрочнить породы непосредственной кровли и связать по своей длине породные блоки, образующиеся над охранной системой, то есть, выполняют частную задачу без общего ограниченного опускания кровли выработки в традиционном понимании смысла опорно-анкерного крепления. Указанную функцию берут на себя сдвоенные центральные и боковые стойки крепи усиления.

В остальных проанализированных схемах и обследованных выработках устанавливается от 4 до 7 анкеров в кровле без какой-либо закономерности связи со степенью устойчивости близлежащих пород.

Представляется целесообразным увеличивать количество сталеполлимерных анкеров (длиной 2,4 м) в кровле повторно используемых выемочных выработок при снижении устойчивости вмещающих пород. Так, результаты обследования показывают, что в устойчивом углевмещающем массиве достаточно установки 5 анкеров; причем, их количество возможно уменьшать в сечениях, где применяются канатные анкера, зарекомендовавшие себя в этих условиях позитивно. В породах средней устойчивости целесообразна установка в кровле 7 анкеров, а при неустойчивой кровле увеличивать их количество до 9 шт. по контуру свода вплоть до угольного пласта. Относительно плотности установки анкеров рекомендуется их равномерное

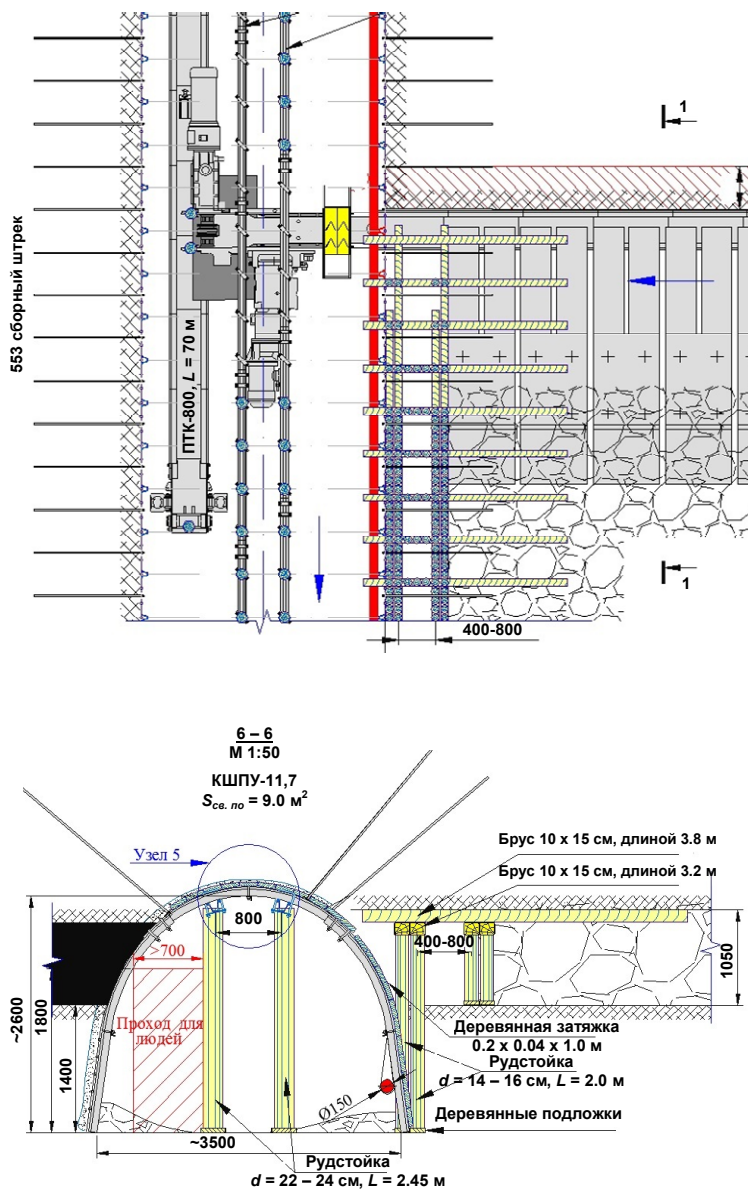
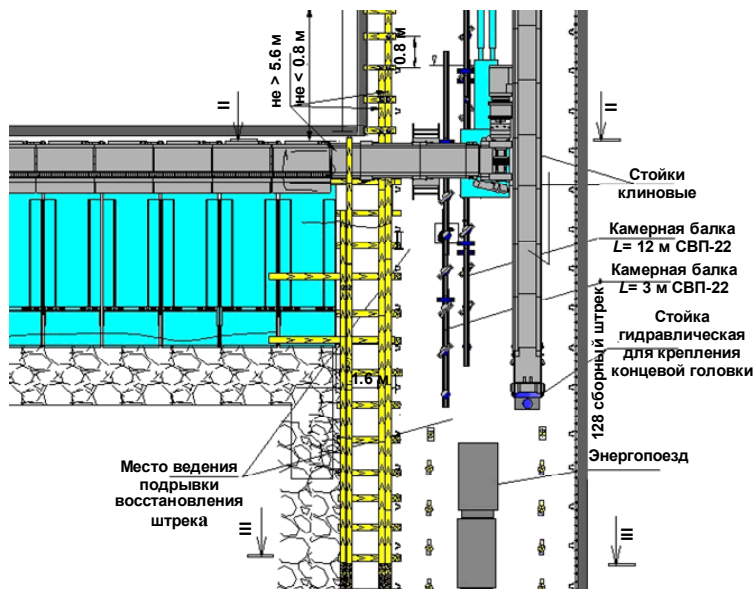


Рис. 3.3. Конструктивно-технологическая схема поддержания 553 сборного штрека 553 лавы ПСП «Шахта Самарская»



Место ведения
подрыбки
восстановления
штрека

III - III
М 1:50
КШПУ-11,0

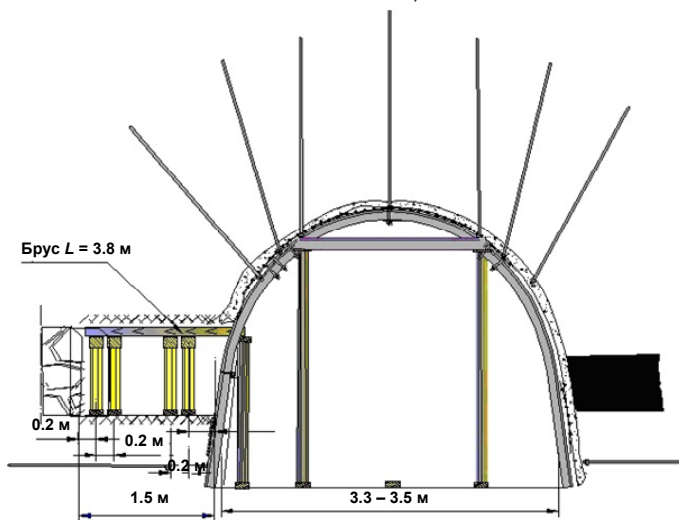


Рис. 3.4. Конструктивно-технологическая схема поддержания 128 сборного штрека 128 лавы ПСП «Шахта Благодатная»

распределение (по контуру свода) в устойчивых породах и концентрация 3 – 5 анкеров в замковой части свода в породах средней устойчивости и неустойчивых.

Третьим элементом крепежной системы являются канатные анкера, которым на шахтах Западного Донбасса уделяется все большее внимание. Накоплен определенный опыт установки канатных анкеров, в том числе, в повторно используемом 165 сборном штреке пласта C_6 шахты «Степная». Канатные анкера установлены в межрамном пространстве с шагом 1,6 м (через каждые две рамы) симметрично относительно вертикальной оси выработки на расстоянии 0,8 – 1,0 м и под углом наклона 70 – 80° к горизонтали. Обследованная выработка находится в достаточно устойчивом состоянии как впереди, так и позади лавы. Прочностные характеристики пород кровли и ее незначительное опускание позволяют прогнозировать ограниченные размеры свода предельного равновесия так, что канатные анкера длиной 6 м гарантированно выходят за его пределы и замковая часть анкеров закреплена в целостном массиве. Это в совокупности обеспечивает высокую устойчивость пород кровли – даже в зоне опорного давления впереди лавы: периодически наблюдаются зазоры между верхняком и породным контуром выработки; позади лавы существенные опускания кровли порядка 200 – 400 мм наблюдаются в основном в районах обводнения из-за расположения дегазационных скважин. В целом, применение канатных анкеров в данных горно-геологических условиях дает позитивные результаты, а при обеспечении их конструктивной связи (например, продольными канатами) с верхняками рам отпадает необходимость в установке стоек крепи усиления.

Четвертым основным элементом крепежной системы является крепь усиления (деревянная или инвентарная), возводимая с опережением очистного забоя и после прохода лавы. Весьма распространенной является технология установки в районе сопряжения одновременно стоек центральной крепи усиления и боковых стоек усиления, примыкающих к берме штрека и предназначенных для поддержания кровли угольного пласта на этом участке. Боковые стойки усиления в значительной степени уже являются элементами охранной системы и эффективность их работы проанализирована ниже, а основное внимание уделено элементам крепи усиления, размещенным в центральной части поперечного сечения выработки.

Среди вариантов крепи усиления выделено три основных:

- одинарные или сдвоенные стойки – 55 – 60% (см. рис. 3.3);
- установка П-образных рам под верхняки штрековой крепи – 10 – 15% (см. рис. 3.5);
- возведение деревянной полигональной крепи – 30 – 35% (см. рис. 3.6).

По первому, наиболее распространенному варианту, деревянные стойки диаметром 18 – 20 см устанавливаются с элементами податливости (а чаще без них) в виде деревянных подложек под верхняк (или прогон) и опору рамы толщиной не менее 10 см. Это позволяет ограничить изгиб и последующую потерю устойчивости стоек усиления в процессе опускания кровли выработки;

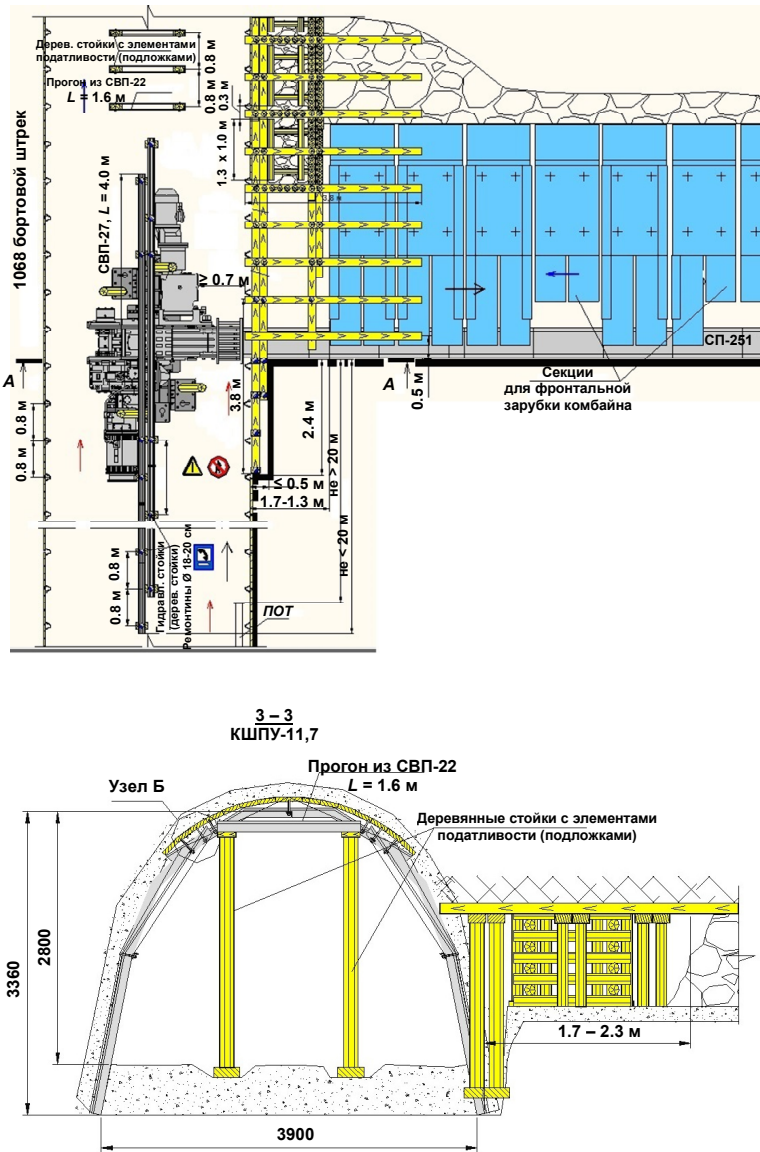


Рис. 3.5. Конструктивно-технологическая схема поддержания 1068 бортового штрека 1068 лавы ПСП «Шахта им. Героев Космоса»

рекомендуется в устойчивых и средней устойчивости породах. В неустойчивых породах величины податливости от смятия деревянных подложек недостаточно и здесь целесообразно применять либо податливые стойки из СВП, либо другой вариант усиления рамной крепи. Повышение устойчивости центральных стоек крепи усиления обеспечивает их наклон под углом 70 – 80° в сторону выработанного пространства вне зависимости от горно-геологических условий поддержания выемочной выработки.

По второму, наименее распространенному варианту, П-образные рамы возводят из деревянных стоек с верхняком из СВП, что еще более загромождает поперечное сечение выработки (см. рис. 3.5). Процесс установки достаточно трудоемкий, учитывая необходимость периодической подрывки почвы; возникают сложности с обеспечением податливости требуемой величины. Позитивным моментом является создание двух опор на периферийных участках верхняка, что повышает его устойчивость.

Третий вариант усиления рамной крепи – полигональная деревянная крепь – обладает достаточной податливостью за счет смятия деревянных прогонов и создает металлической раме 4 – 5 дополнительных опор по всему ее контуру (см. рис. 3.6). Но, имеются и два основных недостатка: повышенный расход лесоматериалов и высокая трудоемкость возведения полигональной крепи; более того, некачественная ее установка приводит к полной потере эффекта усиления крепи КШПУ.

Таким образом, все основные варианты крепи усиления обладают теми, или иными недостатками, а кардинальное устранение которых видится в многоцелевом применении канатных анкеров, отмеченном выше. Предлагается использовать канатные анкера для усиления верхняка рамы путем их соединения вдоль выработки канатными подхватами. При этом податливость канатного подхвата во всех направлениях и возможность регулирования его натяжения обеспечивает податливость опор на концевых участках верхняка, что исключает его пластическое деформирование. Одновременно освобождается сечение выработки и отпадает необходимость в монтаже и демонтаже элементов крепи усиления. Такое конструктивно-технологическое решение целесообразно применять во всех горно-геологических условиях повторного использования выработок; в неустойчивом углевмещающем массиве рекомендуется дополнять канатные опоры на концевых участках верхняка установкой стоек крепи усиления в центральной части свода. Для повышения эффективности работы канатных анкеров их установка и монтаж гибкой связи рекомендуется осуществлять в период проведения выемочной выработки для ограничения процесса расслоения кровли.

Изложенный анализ, выводы и рекомендации в совокупности с результатами многовариантного моделирования геомеханических процессов послужили основой для разработки схем крепления повторно используемых выемочных выработок.

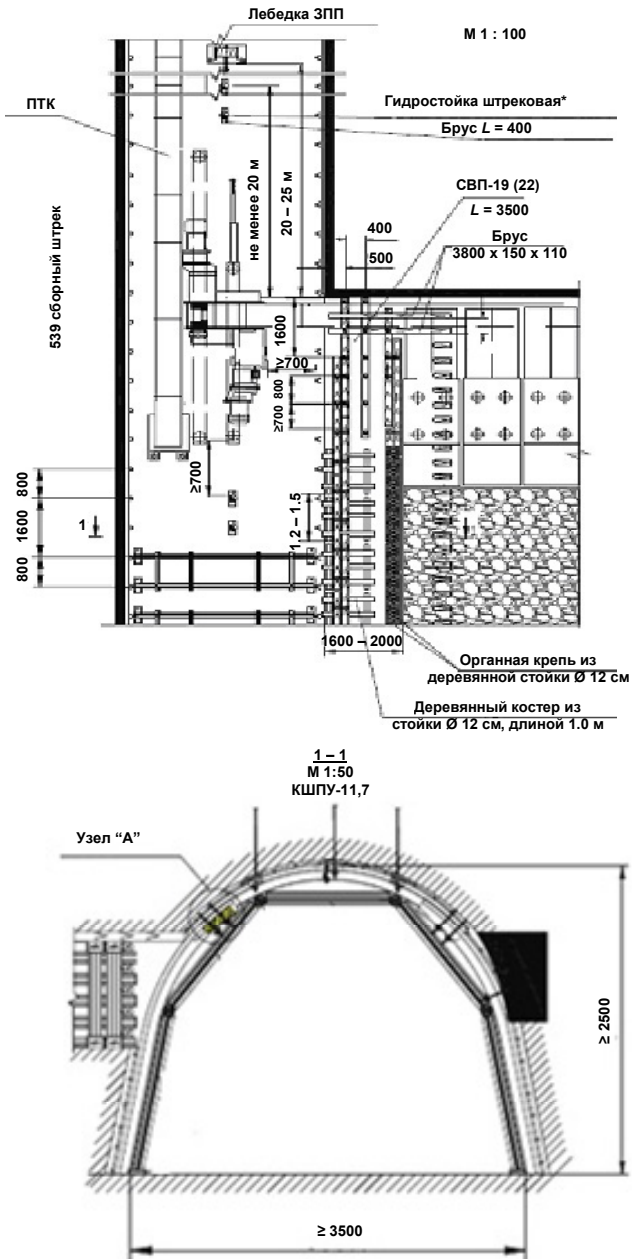


Рис. 3.6. Конструктивно-технологическая схема поддержания 539 сборного штрека 553 лавы ПСП «Шахта им. Н.И. Сташкова»

3.3. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ОХРАННЫХ СИСТЕМ

На шахтах Западного Донбасса применяют различные охранные конструкции, включающие ряд основных элементов, работа которых проанализирована на предмет эффективности поддержания повторно используемых выемочных выработок.

Первый элемент – боковые деревянные стойки усиления, устанавливаемые на границе с бермой (от почвы выработки до кровли угольного пласта) и выполняющие следующие функции:

– поддержание кровли угольного пласта на границе с выработкой через деревянные прогоны (брус толщиной 10 – 15 см, длиной 3,2 – 3,8 м);

– крайние опоры для деревянных прогонов (брус толщиной 10 – 15 см, длиной 3,2 – 3,8 м), укладываемых перпендикулярно выработке на концевые секции механизированной крепи и поддерживающие кровлю бермы.

Для установки боковых стоек усиления (обычно диаметром 14 – 16 см) производится разборка породы на границе бермы шириной 0,3 – 0,5 м. Высота стоек определяется вынимаемой мощностью пласта, глубиной подрывки почвы выработки и величиной ее пучения; она обычно составляет 1,8 – 2,2 м. Податливость стоек обеспечивается смятием деревянных подложек под опорами и деревянных прогонов по кровле угольного пласта. Шаг установки стоек соответствует шагу установки рамной крепи выемочной выработки. Боковые стойки усиления установлены в 55% обследованных выработок на большинстве шахт Западного Донбасса, то есть, применяются вне зависимости от степени сложности горно-геологических условий. При весьма неустойчивых породах непосредственной кровли устанавливается два ряда боковых стоек (23% обследованных выработок), которые достаточно эффективно способствуют повышению устойчивости выемочной выработки (рис. 3.5).

Второй элемент охранной системы – опорная часть – имеет достаточное разнообразие конструктивного исполнения: костер – 8%, накатный костер – 14%, кустокостер – 33%, только обрезная крепь – 36%, сборная крепь усиления (СКУ) – 6%, СКУ в сочетании с литой полосой – 3% (рис. 3.3 – 3.8).

Костры из деревянных стоек диаметром 10 – 12 см возводятся шириной 1,0 – 1,2 м на берме вплотную к выработке (шахта «Благодатная»), либо с отступлением на ширину установки боковых деревянных стоек и (или) стоек на берме (шахта «Юбилейная»). На наш взгляд, применение костра (как податливой конструкции) в слабых породах почвы при небольшой (до 0,8 м) высоте бермы оправдано с точки зрения сохранения ее целостности. В более устойчивых породах почвы возможна установка одного ряда индивидуальной деревянной крепи на участке бермы, примыкающем к выработке. Таким образом, по фактору устойчивости бермы применяемые конструктивно-технологические решения вполне обоснованы. Недостаток видится в том, что в условиях неустойчивых пород кровли формируется значительная нагрузка на костер, характеризующийся высокой податливостью при небольшой

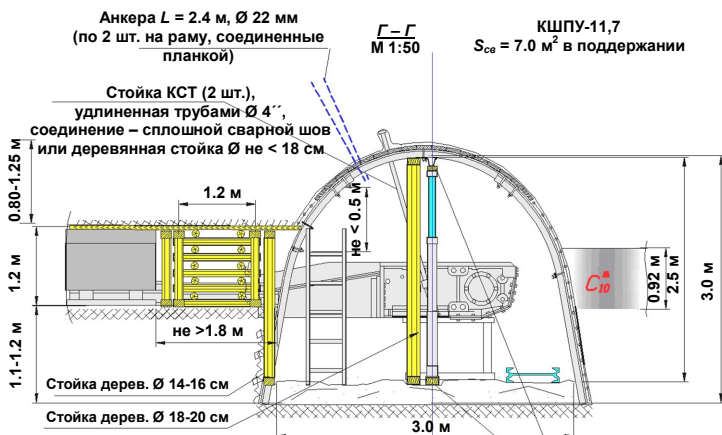
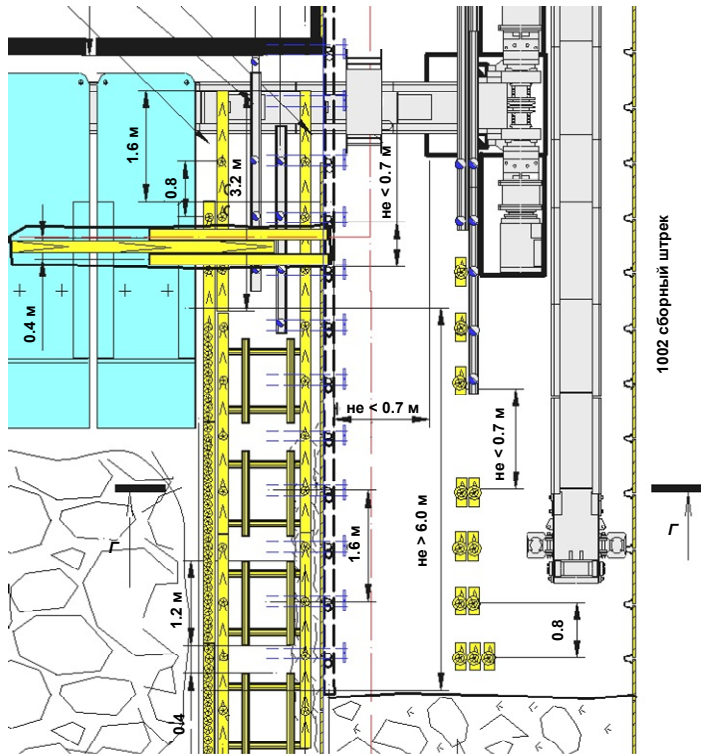


Рис. 3.7. Конструктивно-технологическая схема поддержания 1002 сборного штрека 1002 лавы ПСП «Шахта Западно-Донбасская»

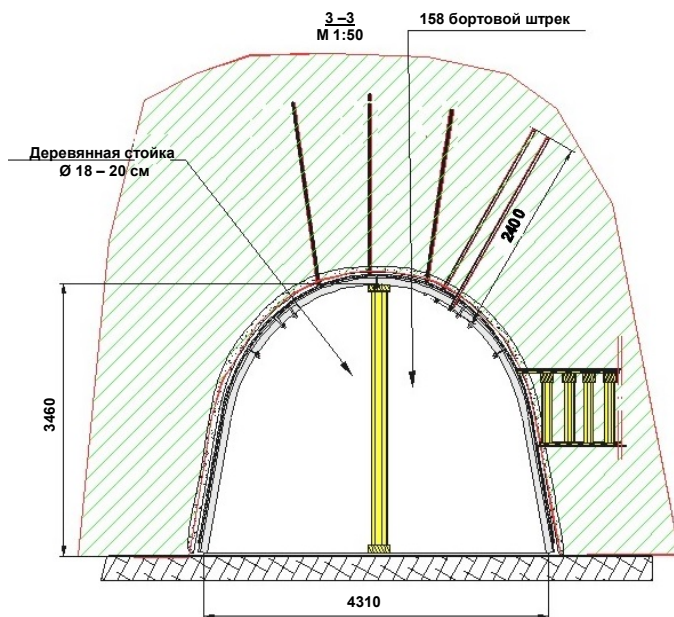
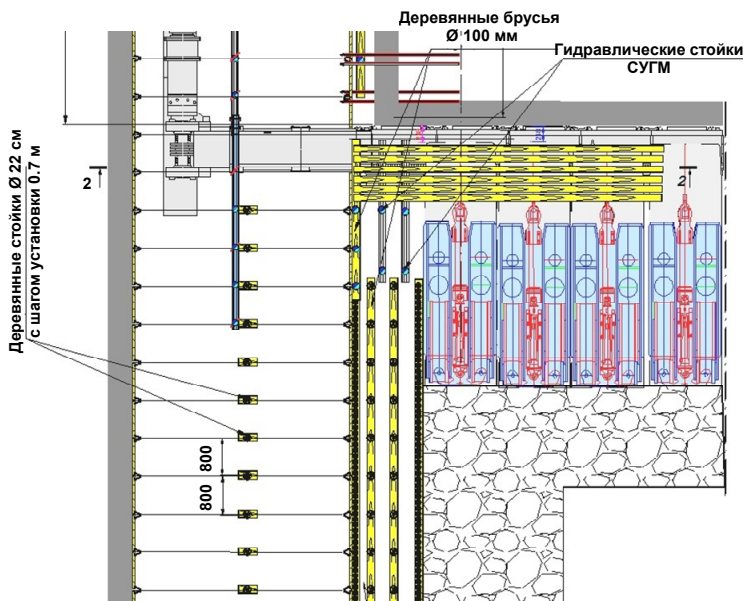


Рис. 3.8. Конструктивно-технологическая схема поддержания
 158 бортового штреха 158 лавы ПСП «Шахта Степная»

реакции отпора в процессе смятия стоек поперек волокон – интенсивно опускается кровля пласта, в том числе и в выемочной выработке, что существенно сказывается как на ее устойчивости, так и на величине остаточного сечения с учетом перспективы повторного использования. Рекомендуется повысить сопротивление костра при неизменном его давлении на породы бермы за счет заполнения бутовым камнем и преобразованием в бутокостер. При необходимости в весьма неустойчивых породах следует увеличить ширину бутокостра до 1,4 – 1,6 м.

В условиях пород устойчивых и средней устойчивости высокая податливость костра способствует его разгрузке и перераспределению нагрузки на другие элементы, что обуславливает низкую эффективность работы костра. Здесь рекомендуется ужесточить режим работы костра, преобразовав его в кустокостер, который достаточно часто применяется в схемах поддержания повторно используемых выработок шахт Западного Донбасса. Конструкция применяемых кустокостров обычно включает до 4 деревянных стоек, размещенных внутри самого костра; такого относительно небольшого количества стоек достаточно для существенного ужесточения режима его работы.

Накатный костер используется преимущественно в устойчивых породах, где присутствует низкая вероятность разрушения пород бермы, хотя ширина костра в 0,8 м создает повышенное опорное давление. Со стороны выработки накатный костер применяется в сочетании с одним рядом стоек, установленных на берме. С точки зрения эффективности выполнения функций охраны выработки целесообразность применения накатного костра в породах устойчивых и средней устойчивости не вызывает сомнений. Основным недостатком такой конструкции охранной части является повышенный расход лесоматериалов.

На ряде шахт с различными горно-геологическими условиями («Благодатная», «Самарская», «Павлоградская», «Терновская») применяется обрезная крепь в сочетании с двумя рядами боковых стоек крепи усиления и этот вариант охраны составляет более трети (36%) всех выработок, предназначенных для повторного использования. Такие схемы охраны являются наименее материалоемкими и трудоемкими; целесообразность их применения обусловлена, на наш взгляд, специфической структурой пород кровли. Главной ее особенностью является склонность к обрушению пород на высоту до 10 – 15 м (иногда более) практически сразу после обнажения без образования сколь-нибудь протяженных породных консолей. Основная причина залегания в кровле либо тонкослоистых слабых пород (коэффициент крепости $f = 1 - 1,5$) большой мощности (порядка 4,0 – 10,0 м), либо наличие достаточного количества угольных пропластков мощностью 0,1 – 0,2 м, разделяющих основную кровлю на ряд независимо деформирующихся породных слоев, что дает основание отнесения кровли к категории легкообрушаемой.

Такая кровля не создает повышенной концентрации опорного давления за счет активного подпора обрушенными породами большой мощности вышележащих слоев основной кровли, то есть, естественным образом проис-

ходит создание подобия обширной «бутовой полосы». В таких условиях задача обрезной крепи (чаще два ряда стоек, удаленных от контура штрека на расстояние 0,7 – 1,2 м в зависимости от степени устойчивости пород кровли) спровоцировать обрушение пород кровли, которые при своем разрыхлении сразу же создадут подпор вышележащим слоям. В этом плане в 170 сборном и бортовых штреках шахты «Самарская» пошли еще дальше – функции обрезной крепи возложили на два ряда боковых стоек крепи усиления, так что в выработанном пространстве находятся только деревянные стойки в разбежку под поперечные прогоны, устанавливаемые еще на сопряжении с лавой. Естественно, анализируемая схема охраны формирует повышенную асимметричную нагрузку на крепежную систему, которая усиливается двумя рядами деревянных стоек в центральной части выработок; их устойчивость в целом можно оценить как удовлетворительную (при проведении необходимых мероприятий), принимая во внимание существенную экономию трудозатрат и лесоматериалов. Рассмотренную схему охраны целесообразно применять для поддержания выработки позади второй лавы до участка ее погашения; после прохода первой лавы длительный период поддержания выработки до ее повторного использования требует весьма осторожного обращения с такой схемой охраны по следующим причинам:

- при обрушении непосредственной и нижних слоев основной кровли могут возникнуть значительные динамические нагрузки на обрезную крепь, так как разрыхленные и увеличенные в объеме породы предшествующего обрушения еще не создали достаточного подпора вышележащим слоям основной кровли, которые при относительной свободе своего прогиба способны создать динамический эффект при разрушении породных консолей над выработанным пространством;

- при недостаточной несущей способности обрезной крепи ее разрушение (хотя бы частичное) спровоцирует интенсивное опускание основной кровли над выработкой, как следствие, – чрезмерное нагружение крепежной системы и потерю устойчивости выработки в целом;

- тот же эффект прогнозируется при разрушении пород бермы и «обыгрывании» породами кровли стоек обрезной крепи, что весьма вероятно при обводнении вмещающих выработку пород;

- даже при устойчивой работе обрезной крепи ее некоторая податливость (смятие деревянных прогонов, вдавливание стоек в почву) обуславливает более интенсивное расслоение и прогиб слоев кровли со стороны выработанного пространства, а также усиление асимметричного нагружения крепи выемочной выработки;

- образуется примыкающее к выработке незакрепленное пространство между боковыми стойками крепи усиления и обрезной крепью, над которой вероятен разлом породных плит кровли, что провоцирует дополнительное нагружение крепежной системы.

Все вышеперечисленные причины требуют тщательного рассмотрения для конкретных условий применения такого способа охраны и изучения воз-

возможности привлечения канатных анкеров, ограничивающих влияние негативных факторов расслоения основной кровли и ее обрушения с динамическим эффектом. В этом плане целесообразна, на наш взгляд, установка канатных анкеров в сторону выработанного пространства под углом 50 – 60°. Они не предотвращают обрушение основной кровли в полном объеме, но ограничивают ее расслоение на начальном этапе «подбучивания» нижележащими обрушенными породами благодаря армированию пород над охранной конструкцией на высоту 4,0 – 5,0 м. Такой мощности вполне достаточно для создания эффективного подпора (со стороны обрушенных пород) прогибу вышележащих слоев основной кровли.

Вторая общая рекомендация касается смещения на 0,4 – 0,6 м центральных стоек крепи усиления в сторону выработанного пространства и их установки под углом 70 – 80°, что в большей степени соответствует вектору полных перемещений пород кровли со стороны выработанного пространства и ограничивает негативное влияние асимметричной нагрузки на раму.

Третья рекомендация заключается в заполнении незакрепленного пространства на берме (между боковыми стойками крепи усиления и обрезной крепью) твердеющим материалом с низкими прочностными характеристиками; это позволит ограничить разлом породных плит в кровле на этом участке и частично разгрузить крепёжную систему.

На шахте «Западно-Донбасская» имеется опыт применения наиболее жесткой конструкции опорной части охранной системы в виде сборной крепи усиления (СКУ), или чередовании вдоль выработки СКУ с «плитами» из твердеющих материалов (размером в плане 1,2 × 1,0 м). Еще более ужесточают режим работы охранной системы ряды обрезной крепи. Данная конструкция позволяет развивать высокую реакцию и воспринимать без разрушения вес значительных объемов пород кровли в виде консольно защемленных плит, зависающих над выработанным пространством; поэтому ее рекомендуется применять при труднообрушаемой основной кровле повышенной мощности. С другой стороны, большая площадь опоры (1,2 – 1,5 м² на 1 п.м выработки) практически исключает «обыгрывание» кровли бермы и ограничивает вдавливание в породы почвы, что расширяет область целесообразного применения такой конструкции. Однако, в слабых и обводненных породах почвы ее применение оказалось малоэффективным ввиду разрушения бермы и выдавливания пород в боках выработки. Здесь, на наш взгляд, следует производить анкерное упрочнение пород бермы по высоте подрывки выработки и усиливать стойки рамы в боковом направлении, например, канатными стяжками.

Заключительным из основных элементов охранных систем, применяемых в повторно используемых выработках шахт Западного Донбасса, является обрезная крепь. Частота ее использования, примерно, одинакова в сборных и бортовых штреках – порядка 70% от общего количества изученных схем на всех шахтах Западного Донбасса. Обрезная крепь имеет несколько вариантов установки:

– один-два ряда деревянных стоек на границе с выработанным пространством, выполняющих функции обрезной крепи; устанавливается во всех вариантах ее применения;

– комбинация обрезной крепи с одним-двумя рядами деревянных стоек; которые устанавливаются на берме на расстоянии 0,2 – 0,5 м от контура выработки; выполняют функции жесткого опорного элемента охранной системы;

– комбинация обрезной крепи с одним рядом деревянных стоек, устанавливаемых на берме перпендикулярно выработке с шагом 0,7 – 1,0 м; выполняют функции опорного элемента и ограждения при возведении других опорных элементов (накатных костров, СКУ, плит из твердеющих материалов).

В проанализированных вариантах установки обрезной крепи, закономерности связи ее параметров с горно-геологическими условиями поддержания выработок не выявлено. На наш взгляд, параметры обрезной крепи диктуются условиями обрушения основной кровли. В преимущественно тонкослоистой структуре слабых пород для обрушения основной кровли не требуется значительной реакции отпора – опорное давление формируется пониженной величины с менее выраженным максимумом, породные консоли имеют весьма ограниченный вылет в сторону выработанного пространства, – поэтому целесообразна установка одного ряда обрезной крепи; обводненность пород кровли облегчает процесс обрушения ее слоев. В преимущественно крупнослоистой структуре более крепкой надугольной толщи происходит зависание удлиненных породных консолей, формирование повышенной нагрузки на наиболее жесткий элемент – обрезную крепь, что обуславливает необходимость установки двух рядов деревянных стоек увеличенного диаметра (порядка 15 – 18 см). Внутри данного диапазона структуры и свойств основной кровли целесообразна установка одного ряда деревянных стоек обычного диаметра (10 – 12 см) в более слабых или обводненных породах и двух рядов – в более крепких породах.

Близость расположения обрезной крепи к границе бермы может спровоцировать ее скол даже при повышенной прочности породы ввиду значительной жесткости такого опорного элемента. Здесь рекомендуется заменить обрезную крепь на менее жесткий опорный элемент (например, костер, кустокостер, накатный костер, литую полосу), распределяющий опорное давление на почву по гораздо большей площади.

В целом, по итогам анализа применяемых в Западном Донбассе охранных систем можно сделать такие выводы:

– существует достаточное многообразие схем охраны, которые в определенной степени учитывают особенности проявлений горного давления и в большинстве вариантов выполняют главную задачу по сохранению требуемого остаточного сечения выемочных выработок для их повторного использования;

– наиболее часто применяемые схемы охраны (около 70%) исключают опорные конструкции в виде кустокостра обрезной крепи, расположенных вблизи контура выработки, которые имеют определенные недостатки, а их

совершенствование видится в более эффективном сопротивлении опусканию кровли пласта при относительно равномерном распределении опорного давления на его почву;

– разрабатываемые схемы охраны должны более полно учитывать структуру и свойства углевмещающего массива и, по возможности, использовать современные технологии применения твердеющих смесей взамен значительного расхода лесоматериалов.

4. ОСОБЕННОСТИ СДВИЖЕНИЯ ПОРОД НАДУГОЛЬНОЙ ТОЛЩИ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ЗАПАДНОМ ДОНБАССЕ

4.1. ШАХТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОРОДНОГО КОНТУРА ПОВТОРНО ИСПОЛЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Исследования проявлений горного давления в выемочных выработках шахт Западного Донбасса имеют историю, сопоставимую с началом освоения этого региона [9, 10]. Усложнение горно-геологических условий отработки угольных пластов за этот период принципиально не изменило качественную картину нарастания горного давления при приближении лавы к какому-либо фиксированному сечению выемочной выработки и удалении от него. Эти закономерности таковы, что на некотором удалении сечения выработки от лавы ее влияние малосущественно; при приближении очистного забоя увеличивается интенсивность роста смещений породного контура и в зоне опорного давления, которая достигает максимума в районе сопряжения с лавой; после прохода лавы скорость перемещений монотонно затухает и проявления горного давления стабилизируются на некотором удалении от лавы. Следующей причиной развития возмущений горного давления является отработка смежного выемочного участка. Причем, если до подхода второй лавы изменения в формировании нагрузки на крепь касаются в основном длительных реологических процессов уплотнения обрушенных пород, уменьшения размеров породных блоков в кровле, деформаций ползучести пород кровли, боков, почвы и тому подобное, то при приближении второй лавы рассматриваемое сечение выработки попадает в зону ее опорного давления и процесс перемещения породного контура активизируется.

Современные технологии поддержания выемочных выработок на шахтах Западного Донбасса характеризуются широким применением опорно-анкерного крепления [31, 53, 54], сущность которого заключается в формировании системой анкеров в кровле выработки породной плиты, воспринимающей основную часть нагрузки, ограничивая при этом опускание пород кровли и защищая рамную крепь от чрезмерного горного давления, преимущественно вертикального направления. Такая комбинация опорно-анкерного крепления с установкой рамной крепи была подвергнута анализу в части замеров перемещений породного контура выемочных выработок по мере продвижения очистного забоя. Инструментальные наблюдения проведены на ряде шахт Западного Донбасса («Степная», «Терновская», «Юбилейная» и др.), отличающихся горно-геологическими условиями, что обеспечило достаточную объективность анализа состояния выемочных выработок по Западному Донбассу в целом.

Закономерности развития перемещений кровли и почвы в процессе подвигания очистного забоя по пласту C_6 на шахте «Степная» для двух выемочных выработок представлены на рис. 4.1 и 4.2. Здесь четко прослеживаются три упомянутые выше стадии деформирования близлежащего массива и нагружения крепи при отработке выемочного участка. На расстоянии до 80 – 100 м от лавы опускание кровли U_K и поднятие почвы U_{II} не превышает, как правило, 70 – 100 мм и обусловлены изменением напряженно-деформированного состояния (НДС) приконтурных пород, связанным с проведением выемочной выработки. На этом участке (вне зоны влияния очистных работ) обращает внимание тот факт, что поднятие (пучение) почвы всего до 15 – 25% меньше опускания кровли при близких значениях коэффициентов крепости пород непосредственной кровли и почвы; причем, породы последней на ряде участков выемочной выработки имеет сопротивление сжатию до полутора раз выше, чем породы непосредственной кровли. Причины данного явления поясняются механизмом деформирования приконтурных пород вне зоны влияния очистных работ – здесь подтверждается, описанный в исследованиях [3, 55, 56] так называемый «эффект штампа», когда более крепкий и поэтому целостный угольный пласт, являясь более жестким телом, «выдавливает» (за счет вертикального горного давления) в полость выработки более слабые (с ярко выраженными пластическими и реологическими свойствами) породы непосредственной почвы.

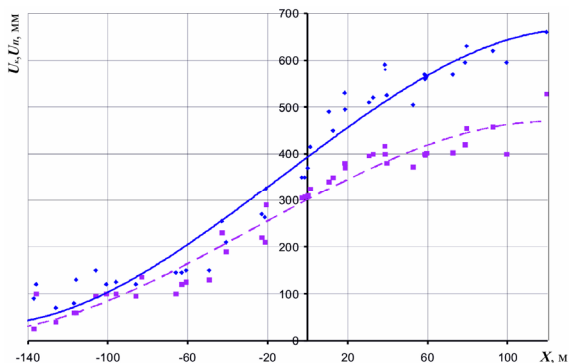


Рис. 4.1. Зависимости смещения кровли (—) и почвы (---) от расстояния X до очистного забоя в 159 штреке пласта C_6 шахты «Степная»

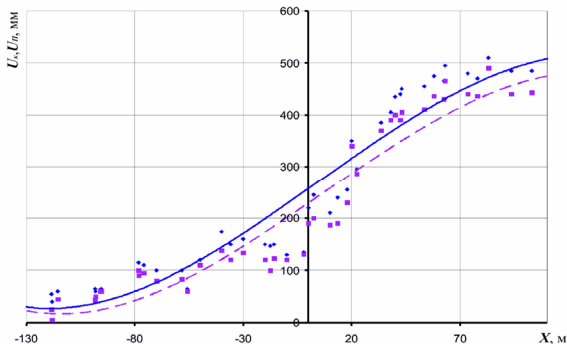


Рис. 4.2. Зависимости смещения кровли (—) и почвы (---) от расстояния X до очистного забоя в 163 штреке пласта C_6 шахты «Степная»

здесь подтверждается, описанный в исследованиях [3, 55, 56] так называемый «эффект штампа», когда более крепкий и поэтому целостный угольный пласт, являясь более жестким телом, «выдавливает» (за счет вертикального горного давления) в полость выработки более слабые (с ярко выраженными пластическими и реологическими свойствами) породы непосредственной почвы.

Часть инструментальных наблюдений развития перемещений контура выемочной выработки на шахте «Терновская» представлены на рис. 4.3 и 4.4. Следует отметить изменение механических характеристик близлежащих пород кровли и почвы в сторону снижения сопротивления сжатию и увеличения

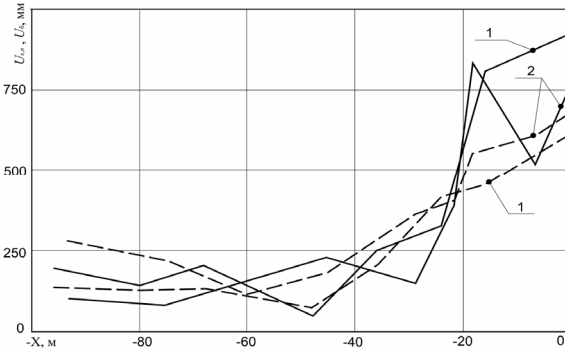


Рис. 4.3. Зависимости сближения кровли и почвы (—) и боков (---) выемочных выработок при подходе лавы по пласту C_5^e на шахте «Терновская» (534 сборный штрек): 1 – реперная станция №1; 2 – реперная станция №2

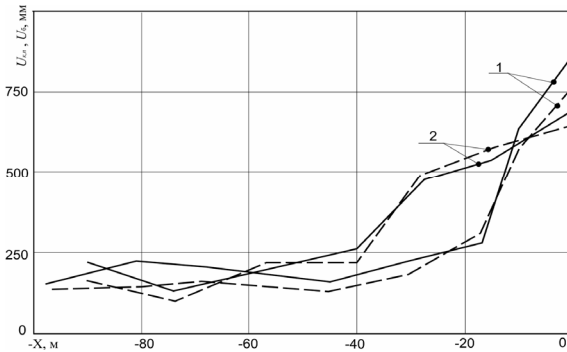


Рис. 4.4. Зависимости сближения кровли и почвы (—) и боков (---) выемочных выработок при подходе лавы по пласту C_5^e на шахте «Терновская» (534 сборный штрек): 1 – реперная станция №3; 2 – реперная станция №4

разницы между крепостью угольного пласта C_5^e и пород непосредственной кровли и почвы. Поэтому, несмотря на ведение очистных работ на меньшей глубине ($H = 230 - 280$ м) по сравнению с шахтой «Степная», сближения кровли и почвы, а также боков выемочной выработки U_b развиваются как минимум не меньшей величины, а на некоторых участках превосходят таковые на шахте «Степная».

Отмечается ряд особенностей развития перемещений по сравнению с предыдущими исследованиями. Так, влияние лавы начинает проследиваться на более близком к забою расстоянии от 15 – 20 м до 30 – 40 м, то есть, зона опорного давления укорачивается по длине выемочной выработки, что обусловлено более высоким отношением жесткости угольного пласта и слабых пород кровли. С другой стороны, вне указанной зоны влияния очистных работ, представляет интерес соотношение величины сближения

кровли и почвы $U_{к,п}$, а также боков U_b выработки. В существующих нормативных документах [50 – 52] отношение $\frac{U_b}{U_{к,п}}$ на пологих пластах регламентируется в интервале 0,20 – 0,39. Замеры перемещений породного

контура выемочных выработок показывают, что отношение $\frac{U_{\delta}}{U_{K,П}}$ не только приближается к единице (то есть, величины $U_{K,П}$ и U_{δ} , примерно равны друг другу), но и на некоторых участках сближения боков превышает сближение кровли и почвы (см. рис. 4.3 и 4.4). Данный факт также требует пояснения в плане обоснования механизма нагружения крепежной системы вне зоны влияния очистных работ и создания на этой основе мероприятий по ограничению проявлений горного давления в боках выработки. Здесь, на наш взгляд, также проявляется «эффект штампа», но не касательно пучения почвы (как на шахте «Степная»), а по отношению к активным сдвигениям боков выработки. Также следует отметить, что величина перемещений $U_{K,П}$ и U_{δ} более существенна и достигает значений 200 – 280 мм вне зоны влияния очистных работ.

Еще одним подтверждением проявления «эффекта штампа» в выемочных выработках вне зоны влияния очистных работ при применении опорно-анкерного крепления является серия наблюдений, проводимых на шахте «Юбилейная», блок №3. Результаты приведены на рис. 4.5. Наблюдения показали довольно высокую величину отношения $\frac{U_{\delta}}{U_{K,П}}$,

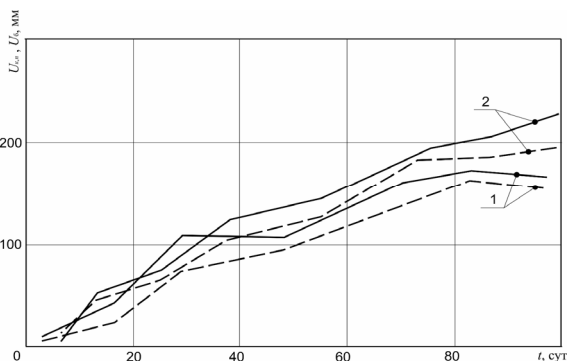


Рис. 4.5. Зависимости развития во времени сближения кровли и почвы (—) и боков (---) выработки вне зоны влияния очистных работ на шахте «Юбилейная» (139 сборный штрек): 1 – реперная станция №1; 2 – реперная станция №3

которая увеличивается по мере роста продолжительности наблюдений и, соответственно, перемещений породного контура. Так, если в первые две недели замеров вне зоны влияния очистных работ $\frac{U_{\delta}}{U_{K,П}} = 59 - 87\%$, то при

$t \geq 80$ сут. $\frac{U_{\delta}}{U_{K,П}} = 86 - 95\%$. Это указывает на рост пластической составляющей в величине перемещений, при которой «эффект штампа» проявляется более интенсивно.

При подходе лавы к замерным станциям в выемочных выработках исследуемый участок попадает в зону опорного давления, где процесс перемещения породного контура значительно активизируется. Например, в выемочных выработках шахты «Самарская» перемещения увеличиваются (на уча-

стке сопряжения с лавой) до 3,5 – 4 раз в кровле (U_K) и до 3 – 3,5 раз в почве (U_{II}). В то же время отношение $\frac{U_{II}}{U_K}$ по мере приближения лавы доста-

точно стабильно и изменяется в пределах 67 – 88% как вне зоны влияния очистных работ, так и в зоне опорного давления вплоть до сопряжения с лавой; причем большие значения в 78 – 88% характеризуются, как правило, участком выработки до 20 м от сопряжения с лавой. То есть, можно утверждать, что процесс нарастания пучения пород почвы при приближении лавы происходит более интенсивно, чем увеличение опускания кровли – следовательно, по отношению к почве «эффект штампа» несколько усиливается в зоне опорного давления, что вполне объяснимо активизацией сдвижения пород кровли.

Аналогичная ситуация прослеживается и в выемочных выработках шахты «Терновская», где было отслежено соотношение сближения кровли и почвы $U_{K,II}$ и боков выработки U_{δ} . Здесь также наблюдается вполне прогнозируемый процесс увеличения $U_{K,II}$ и U_{δ} в зоне опорного давления: по параметру сближения кровли и почвы – в 3 – 4 раза; по параметру сближения боков – в 2,5 – 3,5 раза. Наблюдается относительная стабильность величины $\frac{U_{\delta}}{U_{K,II}}$ на уровне 75 – 105%, что подтверждает присутствие явления вы-

давливания боковых пород («эффект штампа») и в зоне опорного давления.

После прохода лавы скорость смещений породного контура выработки снижается, рост абсолютных значений перемещений замедляется и с удалением от лавы проявления горного давления стабилизируются, а некоторое их развитие обусловлено исключительно длительными реологическими процессами изменения состояния подработанной толщи на больших площадях. За лавой основное внимание уделяется устойчивости пород бермы выемочной выработки, охраняемой тем или другим способом, и процессу пучения ее почвы, так как боковые породы непосредственной кровли теряют жесткое основание в виде угольного пласта со стороны рабочего борта, и здесь «эффект штампа» существенно ослабевает. Затем, на берму выработки действует возрастающая концентрация опорного давления, передающаяся через охранную конструкцию не только на породы бермы, но и на породы почвы выработки. Здесь интенсифицируются проявления «эффекта штампа», что можно наблюдать на рис. 4.2, когда перемещения пород кровли и почвы приближаются друг к другу, а отношение $\frac{U_{II}}{U_K}$ составляет

93 – 95%. Объективности ради следует отметить, что в другой выемочной выработке (см. рис. 4.1) отношение $\frac{U_{II}}{U_K}$ несколько ниже (85 – 94%), но все равно составляет значительную величину.

Таким образом, экспериментальными исследованиями зафиксировано на разных шахтах Западного Донбасса в разных горно-геологических условиях неперенное присутствие активного выдавливания пород боков и почвы выработки (усиливающееся при применении опорно-анкерного крепления), которое для краткости названо «эффект штампа». Данное явление рассмотрено в комплексе с процессом сдвигания надугольной толщи на концевых участках лавы, который также оказывает значительное влияние на состояние выемочных выработок.

4.2. СДВИЖЕНИЕ ПОРОД НАДУГОЛЬНОЙ ТОЛЩИ НА КОНЦЕВЫХ УЧАСТКАХ ЛАВЫ ВБЛИЗИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Для оценки влияния сдвига надугольной толщи на концевых участках лавы и разработки механизма протекания этого процесса целесообразно использовать наиболее объективную информацию, полученную экспериментальным путем. Для этого был проведен комплекс экспериментальных исследований по изучению процессов формирования нагрузки на концевые секции механизированной крепи в зависимости от геомеханических и технологических параметров очистной выемки.

Установлено, что вне зависимости от геомеханических и технологических параметров очистной выемки нет какой-либо стабильной закономерности изменения нагрузки на секции крепи по длине лавы, в том числе и на ее концевых участках (рис. 4.6). При различных координатах X длины выемочного столба максимальная нагрузка на секции проявляется по длине лавы Z стохастически и ее неоднократно фиксировали как на центральных, так и на концевых участках лавы. Очевидно, это связано с изменением структуры надугольной толщи по длине лавы, которое чрезвычайно сложно отследить геологическими службами ввиду значительных расстояний между разведочными скважинами, на основании данных бурения которых строится горно-геологический прогноз. Данное предположение было проверено при вариации других параметров, влияющих на формирование нагрузки на секции

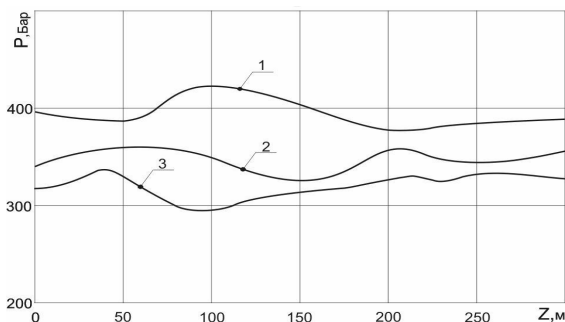


Рис. 4.6. Изменение усредненных значений давления P в гидростойках секций по длине лавы Z от среднесуточной скорости V_c подвигания очистного забоя: 1 – $V_c = 3,2$ м/сут.; 2 – $V_c = 7,7$ м/сут.; 3 – $V_c = 11,4$ м/сут.

крепи, и регулярная неоднозначность (в значительной степени произвольный характер) распределения нагрузки по длине лавы лишь подтверждают вывод о доминирующем влиянии структуры массива при прочих равных условиях.

Повышенное внимание к структуре надугольной толщи уделено по той простой причине, что процесс ее сдвигания затрагивает не только концевые секции механизированной крепи, но и приконтурные породы вокруг выемочной выработки, включая ее крепь. По сущности геомеханических процессов рассмотрена единая система, где индикатором нагружения механизированной крепи является давление P в поршневых полостях гидростоек концевых секций.

Общепринятым является положение о том, что фактором нагружения секций механизированной крепи является вес объема пород непосредственной кровли, деформирующихся (обрушающихся) сразу после их обнажения, но главным фактором – опускание породных слоев основной кровли, когда нагрузка напрямую связана с длиной зависающих над секцией породных консолей. Это утверждение касается и концевых секций, но здесь необходимо рассматривать породные консоли в трехмерном представлении в виде породных плит с нежестким защемлением в глубине угольного пласта с одной стороны и опиранием на боковые приконтурные породы выемочных выработок, с другой стороны. В этом плане представляет интерес экспериментальные исследования процесса формирования породных плит в основной кровле на концевых участках лавы с целью последующего использования результатов в разрабатываемом механизме формирования нагрузки на крепь выемочной выработки в районе сопряжения с лавой и позади нее.

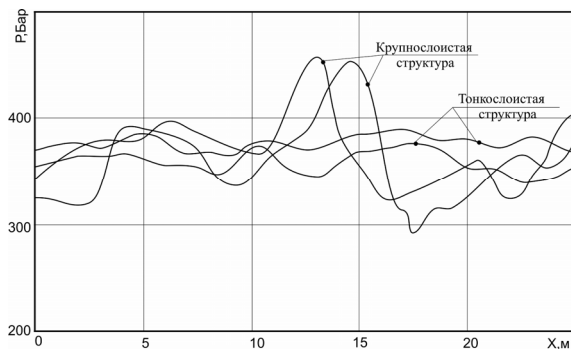


Рис. 4.7. Изменение давления P в гидростойках концевых секций в процессе отработки участков с разной структурой основной кровли

Для выполнения данных исследований были отобраны пять участков с существенно разной структурой на высоту в кровлю 11 – 13 м: от преимущественно тонкослоистой до преимущественно крупнослоистой структур, представленных в основном аргиллитами и алевролитами. На графиках рис. 4.7 четко прослеживается достаточная стабильность давления P в гидростойках (как эквивалент нагрузки на секции) в процессе движения лавы (координата X длины выемочного участка, в том числе и выемочной выработки) при преимущественно тонкослоистой структуре пород кровли. Это указывает

на то, что сколь-нибудь существенных породных консолей не образуется за ограждением секций механизированной крепи, а процесс обрушения породных слоев по высоте происходит поэтапно, достаточно равномерно без проявлений возмущений горного давления, которые обычно предшествуют так называемой посадке основной кровли – данное явление как таковое практически отсутствует. В этой связи на концевых участках лавы логично рассматривать породную плиту (для каждого слоя), которая в поперечном сечении выемочной выработки на границе с выработанным пространством также будет обрушаться без зависания удлинненных консолей, а сразу же в приконтурных породах выработки. При крупнослоистой структуре пород кровли, несмотря на низкие прочностные характеристики аргиллитов и алевролитов, периодически наблюдаются возмущения давления в гидростойках концевых секций, что указывает на зависание породных консолей с последующим их периодическим обрушением, соответствующим по координате X шагу посадки основной кровли. Логично предположить, что на границе лавы и выемочной выработки (в ее поперечном сечении) также образуется плита с вылетом в выработанное пространство на некоторую длину. Хотя зафиксированное превышение среднего давления в гидростойках концевых секций составляет до 20 – 25%, тем не менее, уступообразный вылет породных плит по мощности основной кровли способен существенно увеличить нагрузку на крепь выемочной выработки и возводимую позади лавы охранную конструкцию, что снижает устойчивость бермы выработки и интенсифицирует пучение пород почвы.

Таким образом экспериментально установлено, что в пределах одного выемочного участка процесс формирования нагрузки на систему поддержания выемочной выработки может существенно отличаться; это обусловлено изменением структуры пород надугольной толщи. Отмеченные вариации проявлений горного давления необходимо не только отразить в механизме формирования нагрузки на крепь выемочной выработки, но и в последующем этапе моделирования геомеханических процессов для более объективного и достоверного прогнозирования ее устойчивости.

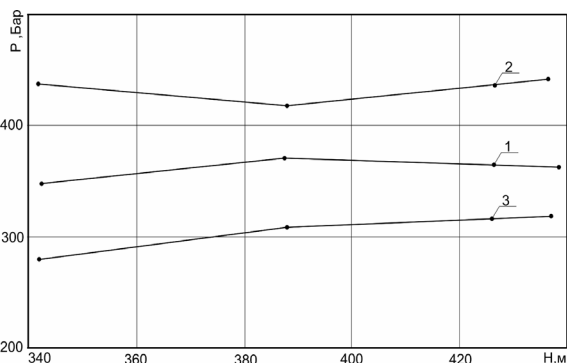


Рис. 4.8. Изменение среднего давления P в гидростойках в зависимости от глубины H ведения очистных работ при положении X лавы относительно шага $l_{П}$ посадки основной кровли, представленной преимущественно крупнослоистой структурой: 1 – $X < l_{П}$;
2 – $X = l_{П}$; 3 – $X > l_{П}$

Другой экспериментально установленной особенностью проявлений горного давления на концевых участках лавы является независимость нагрузки на секции механизированной крепи от глубины H разработки (рис. 4.8). Как видно из графиков изменение глубины почти на 100 м (от $H = 440$ м до $H = 340$ м) практически не отразилось на величине давления P в гидростойках концевых секций. Здесь намеренно приведены данные для преимущественно крупнослоистой структуры, когда проявляется эффект посадки основной кровли, чтобы влияние глубины H отразить как можно существеннее. Тем не менее, гораздо большее колебание P вызывает положение концевых секций относительно сечения выработки, где происходит посадка основной кровли. Отсутствие связи параметров P и H указывает на то, что процесс формирования нагрузки на концевые секции замыкается в некотором объеме пород основной кровли, который не зависит от глубины разработки, а гораздо более связан со структурой надугольной толщи и рядом других параметров. По аналогии можно предположить, что деформирующийся рядом объем неустойчивых пород, создающий нагрузку на крепильную и охранную системы выемочных выработок, также мало связан с глубиной разработки наряду с более тесной связью с другими параметрами, прежде всего, со структурой надугольной толщи. Объяснение этого явления лежит в плоскости специфических свойств пород

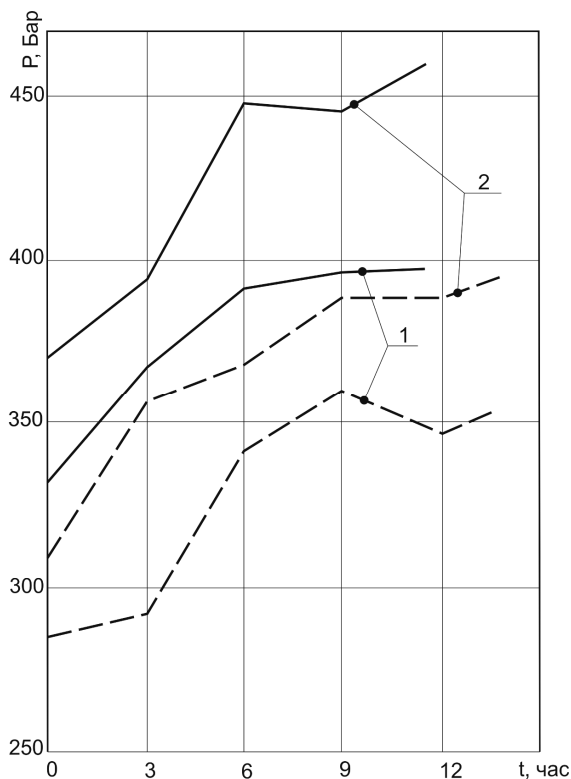


Рис. 4.9. Нарастание давления P в гидростойках задвинутых (1) к груди забоя и неподвижных (2) концевых секций во времени t простоя забоя: — перед посадкой основной кровли; - - на остальной длине шага посадки

Западного Донбасса, обладающих низкими прочностными и деформационными характеристиками, слабыми связями между слоями (или их практическим отсутствием), ярко выраженными реологическими свойствами; а легко деформирующийся массив склонен в наибольшей степени образовывать подобие свода естественного равновесия по проф. М.М. Протождяконову;

известно, что объем такого свода не зависит от глубины разработки.

Технологические параметры ведения очистных работ, такие как среднесуточная скорость V_c подвигания очистного забоя, время t его остановки (простоя) и расстояние δ концевых секций от груди забоя, играют существенную роль в формировании нагрузки на механизированную крепь (см. рис. 4.6 и 4.9). Эти закономерности таковы, что ограничивают или расширяют свод пород кровли, формирующий нагрузку на концевые секции. Аналогичные процессы затрагивают и рядом расположенные породы кровли над выемочной выработкой.

Поэтому механизм формирования нагрузки на крепежные и охранные системы выемочных выработок должен учитывать упомянутые технологические параметры ведения очистных работ.

Подводя итоги анализа результатов экспериментальных исследований в выемочных выработках и концевых участках лавы можно утверждать, что создана база данных особенностей проявлений горного давления на шахтах Западного Донбасса, которая является основой для разработки механизма формирования нагрузки на крепежные и охранные конструкции и проведения последующих исследований устойчивости выемочных выработок позади лавы.

5. МЕХАНИЗМ НАГРУЖЕНИЯ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОИСТОЙ УГЛЕВМЕЩАЮЩЕЙ ТОЛЩЕ СЛАБЫХ ПОРОД

5.1. МЕХАНИЗМ НАГРУЖЕНИЯ КРЕПИ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ВНЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

На шахтах Западного Донбасса для крепления выемочных выработок наиболее широко применяется шатровая крепь (в основном от КШПУ-9,5 до КШПУ-15,0) с формированием в кровле опорно-анкерной системы и установкой в боках по два анкера в кровле и почве угольного пласта; анкера располагаются между рамами без конструктивных связей с последними. Реже используется крепь АПКР [57] также с применением опорно-анкерной системы.

Но, вне зависимости от формы рамной податливой крепи, процессы ее нагружения при деформировании приконтурных пород идентичны друг другу.

Ранее описанные результаты экспериментальных исследований проявлений горного давления в выемочных выработках вне зоны влияния очистных работ указывают на повышенные перемещения породного контура в боках и почве по отношению к кровле выработки. Эти закономерности объясняются выдавливанием более слабых, частично разрушенных и легкодеформируемых пород непосредственной кровли и почвы более крепкими, целостными и поэтому жесткими образованиями в виде опорно-анкерной системы и угольного пласта.

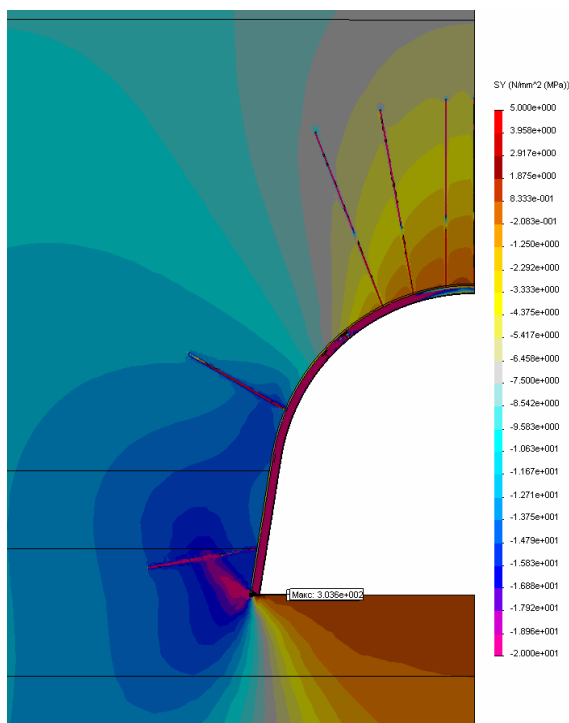


Рис. 5.1. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в приконтурных породах выемочной выработки с применением опорно-анкерного крепления вне зоны влияния очистных работ

В подтверждение экспериментальным исследованиям были получены результа-

ты моделирования напряженно-деформированного состояния пород вокруг выработки вне зоны влияния очистных работ. На рис. 5.1 приведена эпюра вертикальных напряжений σ_y , которая отражает следующие особенности состояния приконтурных пород с опорно-анкерным креплением. В кровле выработки породы разгружены от вертикального горного давления, что само по себе обеспечивает их устойчивость; к тому же, они упрочнены достаточно густой сеткой анкеров, благодаря чему формируется целостная и мощная (длина анкеров 2,4 м) породная плита, защищающая выработку от проявлений горного давления в кровле. По фундаментальному закону сохранения энергии пониженное горное давление в своде кровли компенсируется в боках выработки, где образуется концентрация σ_y до 2 – 2,5 раза превышающая исходное напряженное состояние нетронутого массива. Это провоцирует разупрочнение пород непосредственной кровли и почвы при сохранении целостности гораздо более крепкого угольного пласта. В почве выработки образуется подобие обратного свода с растягивающими напряжениями σ_y ,

которые создают обширную область разупрочненных пород, перемещающихся в полость выработки. В доказательство изложенному на рис. 5.2 приведена пространственная эпюра интенсивности напряжений, согласно которой в кровле выработки образуется целостная армопородная система с уровнем действующих напряжений σ в 2 – 5 раз меньше предела прочности пород непосредственной кровли на сжатие. Напротив, в боках выработки интенсивность σ находится либо на уровне сопротивления сжатию пород непосредственной кровли и почвы, или превосходит таковые в 1,2 – 3 раза – отсюда очевиден вывод о частичном или полном разупрочнении боковых пород, имеющих единственное направление перемещения – в полость выработки. Угольный пласт также находится в зоне повышенного горно-

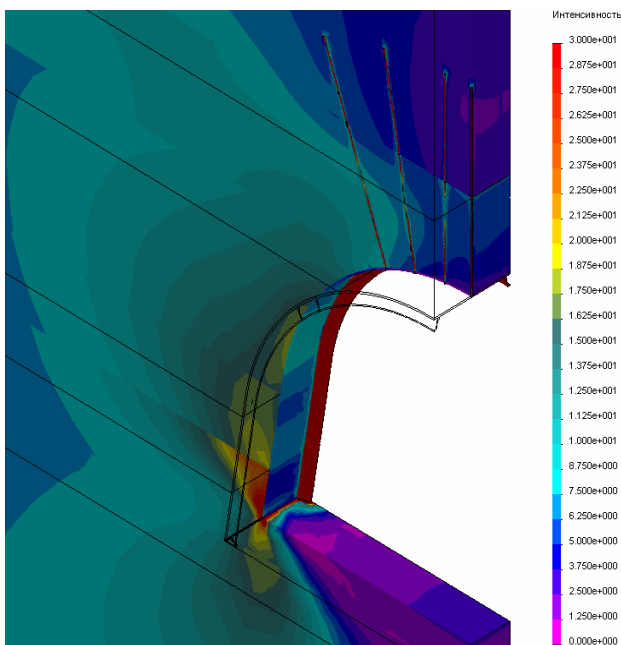


Рис. 5.2. Эпюра интенсивности напряжений σ в приконтурных породах и крепи выемочных выработок вне зоны влияния очистных работ

го давления, но уровень интенсивности напряжений σ в 1,5 – 4 раза ниже его сопротивления сжатию, поэтому пласт сохраняет целостность. В почве пласта образуется обширная разгруженная область, но она представлена уже частично или полностью разупрочненными породами с весьма низкой устойчивостью.

Таким образом, результаты моделирования НДС вмещающего массива вне зоны влияние очистных работ дополняют экспериментальные наблюдения проявления «эффекта штампа», рассматриваемого как особенность в Западном Донбассе процесса выдавливания пород боков и почвы выработки при применении опорно-анкерного крепления. Эта особенность раскрывается в механизме формирования нагрузки на крепь, процесс протекания которого представляется следующим образом. В соответствии с применяемыми на шахтах Западного Донбасса техническими решениями по поддержанию выемочных выработок в их кровле устанавливается 7 – 9 анкеров длиной 2,4 м, а в каждом боку (хотя, не во всех выработках) – по два анкера длиной 1,5 м (иногда 2,4 м). Эта система анкеров за счет предварительного натяжения и разновеликого перемещения массива по глубине оказывает упрочняющее действие путем предотвращения расслоения пород за счет реакции анкеров. При этом вокруг анкеров образуются некоторые объемы пород с максимальным упрочняющим эффектом, а по мере удаления от анкера его воздействие на породы резко ослабевает (по разным исследованиям – обратно пропорционально расстоянию до анкера по степенной функции: от первой до второй степени). При используемой на шахтах Западного Донбасса густой сетке армирования кровли (расстояние 0,35 – 0,50 м между анкерами в поперечном сечении выработки) в ней образуется некое подобие железопородной плиты или балки шириной более ширины выработки, мощностью, примерно соответствующей длине анкеров, благодаря которой эта железопородная конструкция обладает высокой несущей способностью.

Иная ситуация возникает с упрочнением боков выработки, где расстояние между анкерами достаточно велико как в ее поперечном, так и в продольном сечениях. Здесь возникают только локальные области упрочненных пород вокруг анкеров, между которыми располагаются значительные объемы слабоупрочненных или совсем неупрочненных пород. Рассмотрим их состояние в процессе развития горного давления, определяемого в пространстве вертикальными напряжениями σ_y , горизонтальными напряжениями σ_x вдоль выработки и горизонтальными напряжениями σ_z в ее поперечном сечении.

Вертикальные напряжения σ_y нагружают прежде всего упрочненные породы кровли как по ширине выработки, так и за ее пределами. Но, рассматривая эпюру σ_y по координате Z , отмечаем зону разгрузки в ее центральной части (по ширине выработки) и зону опорного давления в ее боках, то есть, распределение σ_y в поперечном сечении выработки крайне неравномерно. В зоне разгрузки несущей способности упрочненной железопородной

плиты в кровле вполне достаточно для защиты верхняка рамы от чрезмерных нагрузок, а относительно небольшие объемы неупрочненных пород формируют пониженную нагрузку P_K в кровле (см. рис. 5.3). В боках выработки ситуация меняется: действие концентраций вертикальных напряжений σ_y усиливается «эффектом

штампа» – деформирование периферийной части железопородной жесткой плиты передается на приконтурные породы боков выработки и они нагружаются еще в большей степени. Единственно возможное направление перемещения этих объемов пород – полость выработки, поэтому первоначально вертикальный вектор компоненты σ_y изменяет на-

правление своего действия и создает косонаправленную нагрузку P_{δ_1} . Этому способствуют и горизонтальные напряжения σ_z , которые в легкодеформирующихся породах непосредственной кровли имеют повышенное значение, а в процессе разупрочнения породы компонента σ_z приближается к величине σ_y и их совместное действие интенсифицирует выдавливание объемов пород, заключенных между упрочненной железопородной плитой в кровле и угольным пластом. Последний является подобием жесткого основания, «отражающего» косонаправленные перемещения пород непосредственной кровли и преобразующие их в преиму-

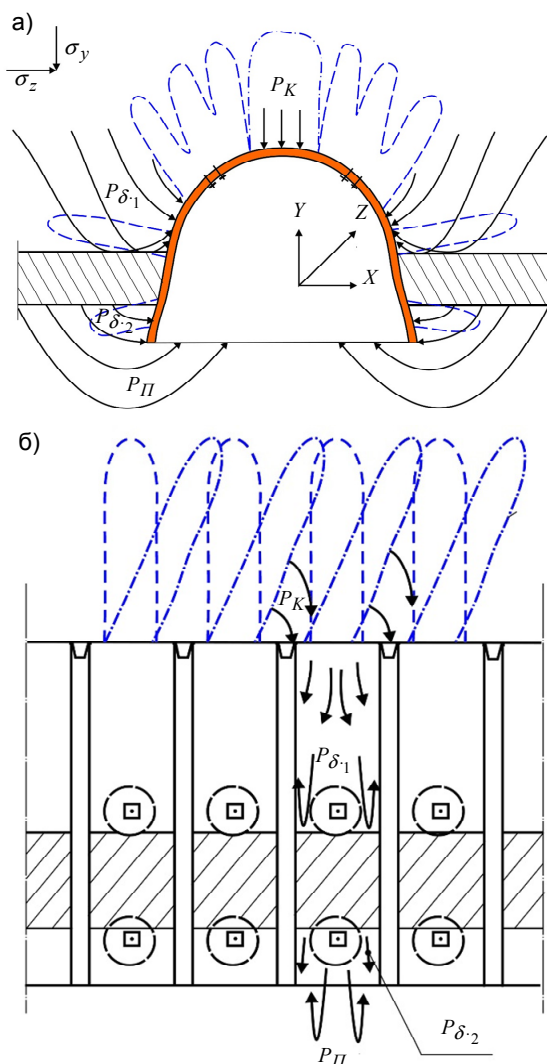


Рис. 5.3. Качественная схема формирования нагрузки на крепь в кровле, боках и почве выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ в поперечном (а) и продольном (б) сечениях

щественно горизонтальное направление (по координате Z) в полость выработки.

Описанный механизм формирования повышенного бокового давления на рамную крепь (на участке контакта с непосредственной кровлей) подтверждается визуальными и инструментальными наблюдениями деформирования стоек рамы на указанном участке ее контура. Еще одним аргументом являются результаты моделирования НДС рамы при использовании опорно-анкерного крепления, приведенные в работе [3], где четко показано появление участка (длиной до 0,93 м) пластического деформирования рамы в районе действия боковой нагрузки P_{δ_1} (см. рис. 5.3).

В непосредственной почве пласта по высоте ее подрывки (обычно в интервале 0,6 – 1,5 м) также формируется повышенная боковая нагрузка P_{δ_2} , механизм образования которой аналогичен вышеописанному. Здесь роль штампа выполняет сохраняющий целостность угольный пласт: сверху он подвержен воздействию опорного давления с концентрацией напряжений σ_y и σ_z ; эта нагрузка передается на почву пласта и суммируется с уже действующей там концентрацией σ_y и σ_z , что, как правило, приводит к частичному или полному разупрочнению некоторых объемов пород почвы; они становятся более подвижными и активно перемещаются в полость выработки. В результате стойки рамы в районе опор изгибаются в выработку, о чем свидетельствуют инструментальные наблюдения и данные моделирования. В целом существенно изменяется геометрия стоек рамы (при образовании двух обширных пластических зон по их длине), резко снижается их сопротивление боковым нагрузкам P_{δ_1} и P_{δ_2} , что негативно сказывается на устойчивости выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ.

Если ближние (к контуру выработки) участки угольного пласта создают повышенную боковую нагрузку P_{δ_2} по высоте подрывки почвы, то несколько удаленные участки (на расстоянии, примерно равном глубине подрывки) провоцируют развитие пучения почвы. Это обусловлено все тем же «эффектом штампа»: жесткий угольный пласт подвержен опорному давлению на достаточно обширном участке по простираю и на таком же удалении от контура выработки передает нагрузку на породы непосредственной почвы; в процесс активного перемещения вовлекаются значительные объемы пород с изменением преимущественно косо направленных перемещений со стороны пласта до горизонтального направления под опорами стоек и далее (по ширине почвы выработки) вектор перемещений направлен вверх в полость выработки с формированием нагрузки P_{II} (см. рис. 5.3). Такой механизм развития «эффекта штампа» был целенаправленно смоделирован (для выемочной выработки пласта C_6 шахты «Юбилейная») в виде векторного представления эпюр полных перемещений близлежащего массива (рис. 5.4), где наглядно отражен процесс изменения направлений переме-

щений пород в боках и почве выработки за счет действия зоны опорного давления, с одной стороны, и жесткого угольного пласта, с другой стороны.

Таким образом, возникновение «эффекта штампа» в выемочных выработках шахт Западного Донбасса не только доказано комплексом шахтных и вычислительных экспериментов, но и раскрыт механизм развития этого явления для всестороннего его изучения и создания рекомендаций по ограничению его негативного воздействия на устойчивость выемочных выработок вне зоны влияния очистных работ. Для разработки эффективных конструктивных решений повышения устойчивости боков и почвы выемочных выработок, поддерживаемых с применением опорно-анкерного крепления, используем уже рассмотренный выше механизм деформирования приконтурных пород и формирования нагрузки на крепь. Наиболее целесообразно использовать существующие конструктивно-технологические схемы крепления выемочных выработок (без каких-либо существенных дополнительных затрат) для резкого ограничения процессов выдавливания пород в боках и почве путем повышения реакции бокового сопротивления рамы. Совместный процесс выдавливания боковых пород и пучения почвы выработки имеет общую причину – опорное давление в боках выемочной выработки и наличие образований повышенной жесткости. То есть, если ограничить интенсивность выдавливания пород в боках выработки, то автоматически снизится интенсивность пучения ее почвы.

Рассмотрим механизм ограничения перемещений боков выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ. Развитие явления выдавливания боковых пород помимо «эффекта штампа» обусловлено самим техническим решением по установке двух анкеров в каждом боку и рам с шагом 0,8 – 1 м. Крезь КШГУ характеризуется в том числе удлиненными стойками с увеличением высоты выработки (в зависимости от сечения) до 3,1 – 4,0 м, а для упрочнения пород на этой высоте применяется только два анкера (и то не всегда). С другой стороны, упрочняющий эффект локализуется в ограниченном объеме пород вокруг анкера – тогда по высоте выработки появляются значительные объемы пород с низкой степенью анкерного упрочнения (или его полным отсутствием), которые и подвержены воздействию «эффекта штампа». Вдоль выработки ситуация аналогична: при расстоянии между анкерами

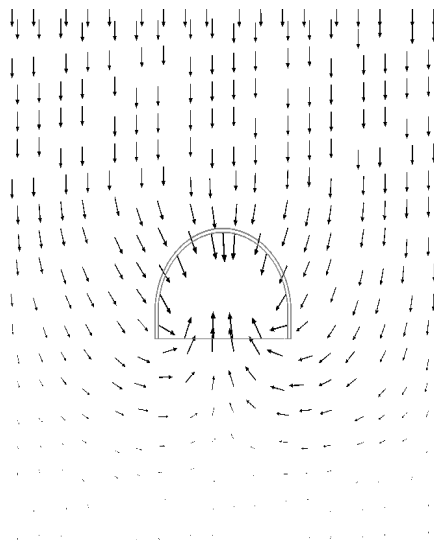


Рис. 5.4. Векторное представление эпюр полных перемещений пород кровли и почвы пласта в окрестности выемочной выработки

1 м между ними также располагаются значительные объемы слабоупрочненных (неупрочненных) пород. То есть, возникает ситуация дискретного упрочнения весьма ограниченных объемов пород в боках выработки (как это показано на рис. 5.3), а между ними развивается процесс выдавливания приконтурных пород, которому рамная крепь (особенно КШГУ) сопротивляется очень слабо и не способна сколь-нибудь существенно его ограничить.

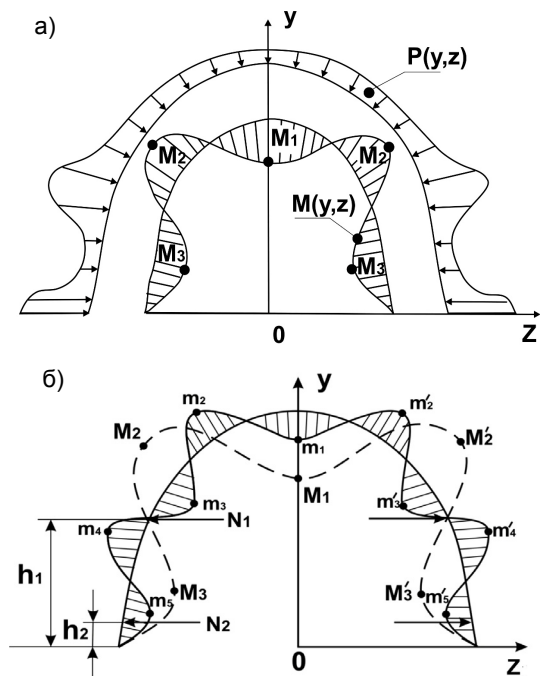


Рис. 5.5. К обоснованию принципа повышения реакции рамной крепи с помощью боковых анкеров и пространственных податливых связей: а) общая схема нагружения рамы; б) схема понижения максимумов изгибающего момента; — до установки гибких стяжек; — после установки гибких стяжек

турных пород, которому рамная крепь (особенно КШГУ) сопротивляется очень слабо и не способна сколь-нибудь существенно его ограничить.

В этих условиях необходимо увеличить боковую реакцию рамной крепи в соответствии с известным техническим решением [3] по установке пространственно податливых связей между рамами и созданию единой конструкции рамно-анкерной крепи в истинном понимании этого термина как конструктивно объединенную грузонесущую систему. Принцип многократного повышения боковой реакции рамы пояснен на рис. 5.5: реакция №1, 2 боковых анкеров, приложенная через гибкие стяжки на стойки рамы на определенной высоте $h_{1,2}$, противодействует возмущениям нагрузки $P(y,z)$ и многократно снижает изгибающий момент M_i по всему контуру рамы до уровня m_i , что

позволяет резко увеличить ее несущую способность не только по отношению к боковой, но и к вертикальной нагрузке.

При увеличении реакции рамно-анкерной крепи в боках выработки растет горизонтальная компонента напряжений σ_z и повышается устойчивость объемов боковых пород в соответствии с любой из существующих [6, 7, 22] теорий прочности. При этом снижаются перемещения боков выработки, что подтверждают экспериментальные исследования, приведенные в работах [3, 5]. Более устойчивые породы в боках выработки передают меньшую нагрузку на породы почвы, что позитивно сказывается на ограничении процесса ее пучения. Таким образом, простое и малозатратное конструктивное решение по созданию рамно-анкерной крепи позволяет, с точки зрения гео-

механических процессов в окрестности выемочной выработки, ограничить выдавливание пород в ее боках и почве.

Изложенный механизм особенностей проявления горного давления вблизи выемочных выработок вне зоны влияния очистных работ положен в основу обоснования геомеханической модели протекания процесса, расчета НДС приконтурных пород и рамно-анкерной крепи с конечным итогом – выдача рекомендаций по выбору параметров комбинированной крепежной системы в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий поддержания выемочных выработок. Здесь необходимо конкретизировать комплекс взаимосвязанных задач последующих исследований, вытекающих из основных положений механизма нагружения крепежной системы выемочных выработок вне зоны влияния очистных работ:

- оценить степень упрочнения пород вокруг боковых анкеров и объемы неустойчивых пород, где воздействие анкеров малосущественно;

- определить НДС пород почвы и спрогнозировать процесс развития ее пучения;

- выявить влияние геомеханических параметров (глубина разработки, структура и свойства близлежащих пород кровли и почвы пласта) на проявления «эффекта штампа» при существующей технологии опорно-анкерного крепления;

- установить связь НДС рам и анкеров с геомеханическими параметрами поддержания выемочной выработки;

- оценить влияние горнотехнических параметров (сечение выработки, тип крепи и номер СВП, глубина подрывки почвы) на проявления «эффекта штампа»;

- выявить влияние пространственно-податливых связей в рамно-анкерной крепи и координат их расположения на НДС приконтурных пород, рам и анкеров;

- оценить степень ограничения перемещений боков и почвы выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ при установке рамно-анкерной крепи.

5.2. МЕХАНИЗМ НАГРУЖЕНИЯ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВПЕРЕДИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ В ЗОНЕ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Механизм нагружения крепежной системы выемочной выработки изменяется как только рассматриваемый участок попадает в зону опорного давления впереди очистного забоя; происходит активизация проявлений горного давления, на что указывают результаты замеров перемещений контура выемочных выработок (см. рис. 4.1 – 4.4). Прежде чем раскрыть и описать особенности процесса сдвижения углевмещающего массива в окрестности выемочной выработки в условиях шахт Западного Донбасса, отметим общие

закономерности формирования аномальных зон состояния надугольной толщи вблизи лавы, которые выработаны на протяжении многих десятилетий изучения этого явления и создали основу для геомеханических исследований вне зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий отработки угольных пластов.

Впереди лавы формируется и перемещается одновременно с подвиганием очистного забоя зона опорного давления, протяженность которой (координаты X) на шахтах Западного Донбасса оценивается преимущественно в интервале до 20 – 60 м; в поперечном сечении выемочной выработки и близлежащих пород (координата Z) эпюра вертикального горного давления (компонента σ_y) изменяется в качественном и количественном плане по мере приближения лавы. Именно по этой причине для наиболее объективного раскрытия механизма сдвижения надугольной толщи и нагружения крепежной системы выемочной выработки в первую очередь рассмотрена пространственная эпюра поля σ_y в зоне опорного давления впереди лавы, качественный вид которой приведен на рис. 5.6.

На некотором расстоянии (A_1B) от выработки вдоль выемочного участка A_1A_3 по координате X возмущения эпюры вертикального горного давления характеризуются следующими закономерностями. Экспериментально установлено, что на определенном удалении от очистного забоя его влияние малосущественно и вертикальные напряжения близки к исходной величине $\sigma_y = \gamma H$, что отмечено точкой A_1 . По мере приближения лавы концентрация σ_y увеличивается, достигая максимума $\sigma_y = \kappa_2 \gamma H$ в точке A_2 , как правило отстоящем на 2 – 15 м от груди забоя. Это расстояние зависит в основном от соотношения жесткостей угольного пласта и породных слоев кровли. Здесь особенностью горно-геологических условий Западного Донбасса является сочетание повышенной крепости угля по отношению к крепости пород кровли и почвы пласта, представленных в основном слабыми аргиллитами и алевролитами с достаточно интенсивной трещиноватостью от 2 – 5 до 10 – 15 трещин на 1 м. Изменение начального состояния массива при подходе лавы провоцирует разупрочнение слабых углевмещающих пород, особенно непосредственной кровли и почвы, и, как следствие, – резкое увеличение их деформируемости (падение модуля деформации). Сопrotивление сжатию угольного пласта обычно в 1,5 – 4 раза больше, чем пород непосредственной кровли и почвы, поэтому степень разупрочнения угольного пласта намного меньше и проявляется в основном в локальных областях. Эти процессы обуславливают значительное превышение жесткости угольного пласта над жесткостью породных слоев кровли: при их совместном деформировании под воздействием горного давления перемещения угольного пласта будут многократно ниже, чем породных слоев кровли, и на небольшом расстоянии от груди забоя подавляющая часть вертикальных переме-

щений U_y реализуется за счет опускания легкодеформируемых слоев кровли. Такая ситуация пониженных деформаций угольного пласта приводит к приближению максимума $\kappa_2 \gamma H$ к груди очистного забоя, поскольку традиционное для Донбасса так называемое «нежесткое защемление» породных консолей над лавой в Западном Донбассе приобретает свойства приближающиеся к понятию «жесткое защемление» (используется в строительной механике) с концентрацией изгибающего момента в породной консоли в районе груди забоя.

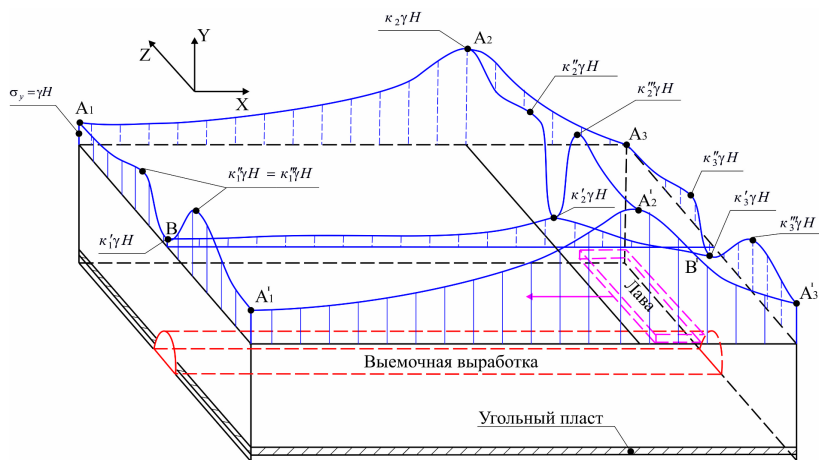


Рис. 5.6. Схема распределения аномальных областей вертикальных напряжений σ_y в окрестности лавы в зоне опорного давления

Описанная особенность провоцирует более интенсивный градиент роста перемещений породного контура выемочной выработки на достаточно ограниченном участке впереди лавы длиной до 20 – 40 м (см. рис. 4.1 – 4.4), где скорость сближения пород кровли и почвы, а также боков выработки резко увеличивается от долей мм/сут. до единиц и даже нескольких десятков мм/сут. по данным различных исследований. Поэтому соответствующие мероприятия по усилению крепи выработки проводятся, как правило, впереди зоны опорного давления.

Анализируя зону опорного давления при приближении продольного сечения (по координате X) к выемочной выработке (по координате Z), отмечено изменение поля распределения вертикальных напряжений σ_y , обусловленных как влиянием самой выработки, так и конечного участка очистного забоя. На удалении от лавы, характеризующем начало влияния очистных работ, (линия $A_1 A_1'$) аномалии эпюры σ_y , определяются исключительно воз-

действием выемочной выработки: в ее кровле (район точки B) образуется зона разгрузки, где, в зависимости от положения породного слоя по высоте (по координате Y), сжимающие σ_y не только уменьшаются ($\sigma_y < \gamma H$), но и вблизи контура выработки переходят в растягивающие с формированием свода предельного равновесия по длине выработки (линия BB'). В боках выработки на расстоянии (по координате Z) до полутора – двух ее ширин образуется концентрация сжимающих σ_y порядка $(1,5...3,0)\gamma H$, которая сама по себе может провоцировать некоторые локальные области разупрочнения; но, при приближении очистного забоя усиливается опорное давление и происходит наложение двух концентраций сжимающих σ_y – от выемочной выработки и концевой участка лавы. Это способствует более интенсивному развитию процесса разупрочнения пород кровли и, как следствие, активизации проявлений горного давления в боках выемочной выработки.

Вблизи лавы и над ней опорное давление стремительно падает (по причине активного расслоения пород кровли) вплоть до нуля (точка A_3) на некотором удалении от сопряжения по длине лавы. Величина вертикальных напряжений σ_y снижается (по координате Z), но, тем не менее, имеет возмущения (линия $A_3A'_3$), обусловленные влиянием выработки и опорным давлением вблизи боковых границ выемочного участка (линия $A'_1A'_3$).

Анализ поля вертикальных напряжений σ_y в зоне опорного давления впереди и по бокам лавы (см. рис. 5.6), построенного по существующим качественным представлениям о процессах сдвижения надугольной толщи, позволяет сформулировать ряд выводов и положений, необходимых при раскрытии и геомеханическом обосновании особенностей механизма нагружения крепежной системы выемочных выработок в условиях шахт Западного Донбасса.

Во-первых, по площади ZX поле напряжений σ_y постоянно изменяется в силу наложения влияния двух факторов: возмущения НДС от полости выемочной выработки и полости концевой участка лавы. Степень влияния на разных участках переменная с доминированием воздействия то одного, то другого фактора. Так, в начале зоны опорного давления впереди очистного забоя (линия $A_1A'_1$) преобладающее влияние оказывают возмущения σ_y , связанные с выемочной выработкой: если в точке A_1 вертикальное напряжение приближается к значению нетронутого массива $\sigma_y = \gamma H$, то в боках выработки возникает концентрация до величины $\sigma_y = \kappa_1 \gamma H$; в кровле выработки происходит разгрузка до значения $\kappa'_1 \gamma H$. По мере приближения к лаве уже ее влияние становится доминирующим: максимумы опорного давления (линия $A_2A'_2$) возрастает от величины $\kappa_2 \gamma H$ (точка 2, где влияние выработки

малосущественно) до величины $\kappa_2''\mathcal{H}$ в боку выработки за счет наложения влияния последней. В кровле выработки концентрация $\sigma_y = \kappa_2'\mathcal{H}$ снижается по причине частичной компенсации (зоной разгрузки от влияния выработки) концентрации σ_y от влияния лавы. Далее в боку выработки со стороны нетронутого массива опорное давление опять возрастает до величины $\sigma_y = \kappa_2''\mathcal{H}$ за счет суммирования концентраций σ_y от выработки и боковых границ выемочного участка. На завальной границе лавы (A_3A_3') зона опорного давления преобразуется в зону разгрузки и такое влияние лавы значительно уменьшает эпюру $\sigma_y(Z)$ с появлением пониженных концентраций $\kappa_3''\mathcal{H}$ в ближнем (к лаве) боку выработки. Над ней в кровле зона разгрузки от выработки накладывается на зону разгрузки от лавы и возможно формирование обширной области растягивающих напряжений σ_y , однозначно разупрочняющих слабые породы. В противоположном боку выработки повышенная концентрация $\kappa_3''\mathcal{H}$ формируется как суммарное влияние выработки и опорного давления в районе боковой границы выемочного участка.

Во-вторых, переменное поле напряжений генерирует разную интенсивность проявлений горного давления в выемочной выработке в целом и, в частности, процессов выдавливания пород в ее боках и почве.

В-третьих, необходимо учесть такую особенность сдвижения породного массива в Западном Донбассе как близкое расположение к поверхностям обнажения (грудь очистного забоя, борта выработки) максимумов опорного давления впереди лавы и по боковым границам выемочного участка.

В соответствии с измененными представлениями и выводами рассмотрены основные особенности механизма сдвижения надугольной толщи и нагружения крепежной системы выемочной выработки на участке опорного давления впереди лавы. Для более наглядного изложения будем иллюстрировать отдельные фрагменты (из схемы на рис. 5.6) деформирования породных слоев в окрестности выработки.

В первую очередь рассмотрен механизм деформирования слоистых пород кровли пласта в поперечном сечении выемочной выработки, который пояснен на схеме рис. 5.7. Традиционная технология поддержания выемочных выработок в зоне опорного давления впереди лавы связана с установкой крепи усиления, чаще всего в виде податливых двухзвеньевых стоек из спецпрофиля СВП по двум вариантам: либо размещение одной стойки в центральной части свода выработки, либо двух стоек в районе замков рамы. Внимание крепи усиления уделено по той причине, что ее стойки противодействуют вертикальному горному давлению (в совокупности с рамой и опорно-анкерным креплением), но никак не повышают сопротивление рамы боковым нагрузкам.

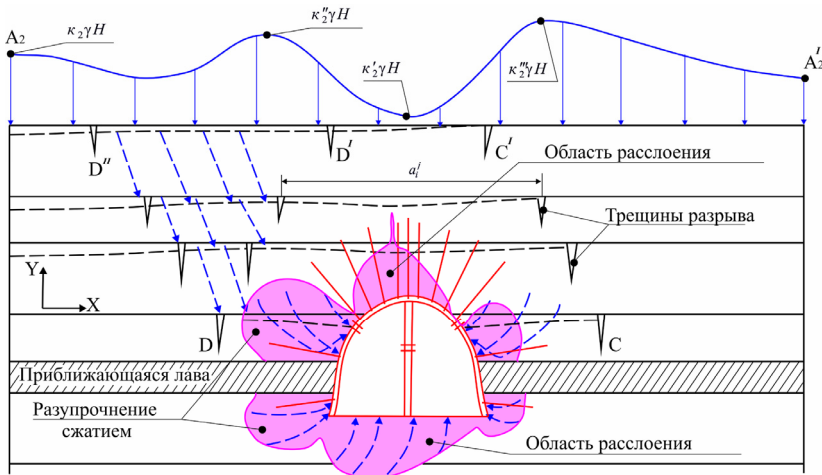


Рис. 5.7. К механизму интенсификации повышенных боковых нагрузок на крепь в зоне опорного давления

На рис. 5.7 показано сечение выемочной выработки впереди лавы в зоне действия максимума опорного давления (линия A_2A_2' на рис. 5.6), где геомеханические процессы сдвижения пород кровли проявляются наиболее интенсивно. Вокруг выемочной выработки образуется ряд аномальных областей, связанных с перераспределением горного давления и процессами разупрочнения горных пород. Это установлено многочисленными исследованиями, в том числе и моделированием состояния приконтурных пород и крепи в зоне влияния очистных работ при применении опорно-анкерного крепления. Особенности состояния вмещающих пород заключаются в следующем.

С одной стороны, в приконтурных породах кровли образуется область расслоения от действия, в первую очередь, растягивающих вертикальных напряжений σ_y , а также растягивающих горизонтальных напряжений σ_z и σ_x , активизирующих процесс разупрочнения. Известно, что слабые породы Западного Донбасса имеют весьма низкое сопротивление растяжению (обычно до 1,5 – 3,5 МПа), к тому же благодаря воздействию ослабляющих породу факторов такое сопротивление фактически отсутствует. Тем не менее, из-за густой сетки армирования кровли анкерами область расслоения в форме свода не столь значительна, а вес пород внутри свода многократно меньше сопротивления рамной крепи вертикальным нагрузкам. Кроме того, длина анкеров обычно превосходит размеры свода и они сами (за счет подхватов и металлической сетки межрамного ограждения) вполне способны удержать объем отслоившихся пород.

Другая особенность углевмещающей толщи Западного Донбасса заключается в весьма слабом сцеплении по поверхностям контактов слагающих породных слоев; на многих участках такое сцепление практически отсутствует. Также следует учесть действие вблизи выработок геостатических аномалий горного давления, которые нарушают и без того слабые контакты [64, 65], так, что породные слои вблизи выемочной выработки деформируются отчасти независимо друг от друга. Это перемещение породных слоев (показано пунктирными линиями на рис. 5.7) можно разделить на две закономерности влияния двух выработок – выемочной и очистной. Под влиянием выемочной выработки в ее кровле происходит прогиб слоев с образованием трещин разрыва (в верхней части по мощности каждого слоя) по линиям CC' и DD' . Трещины образуются под действием растягивающих напряжения σ_z и повышают деформируемость породных слоев в направлении полости выработки – происходит их разгрузка со снижением интенсивности напряжений и, как следствие, – повышение устойчивости пород кровли, чему также способствует установка опорно-анкерного крепления. Влияние лавы (даже на некотором расстоянии от груди забоя) проявляется в развитии деформирования породных слоев кровли в зоне опорного давления еще до подхода лавы. Опускание слоев кровли характеризуется их максимальным прогибом в центральной (по длине лавы) части выемочного участка и минимальным прогибом у выемочной выработки; в связи с таким направлением изгиба в боку выработки (со стороны лавы) образуется еще одна система трещин разрыва, показанная линией DD'' (см. рис. 5.7).

Теперь рассмотрим состояние пород в боках выемочной выработки и как образование породных блоков длиной a_i^j в ее кровле изменяет проявления горного давления в боках и почве. Аналитическими, численными и экспериментальными методами установлено, что в боках выработки (большей частью в породах непосредственной кровли и почвы) повышенное горное давление разупрочняет некоторый объем слабых пород, что увеличивает их подвижность. С другой стороны, опускающиеся вышележащие породные слои пригружают нижележащие, в том числе, и частично (или полностью) разупрочненные объемы пород непосредственной кровли; жесткий угольный пласт ограничивает вертикальные перемещения боковых пород и их вектор перемещения изменяет направление в полость выработки, нагружая стойки рамы. Этот процесс в зоне опорного давления развивается более интенсивно в связи с повышенной вертикальной составляющей горного давления; та же интенсификация эффекта «штампа» происходит и в породах непосредственной почвы. Со стороны лавы развиваются аналогичные процессы выдавливания пород боков и почвы выработки, но они усиливаются за счет деформирования породных блоков, заключенных между линиями DD' и DD'' . Поэтому появляется асимметрия нагрузки по всему периметру выемочной выработки, которую необходимо учитывать при построении геоме-

ханических моделей и расчетов параметров комбинированной крепежной системы.

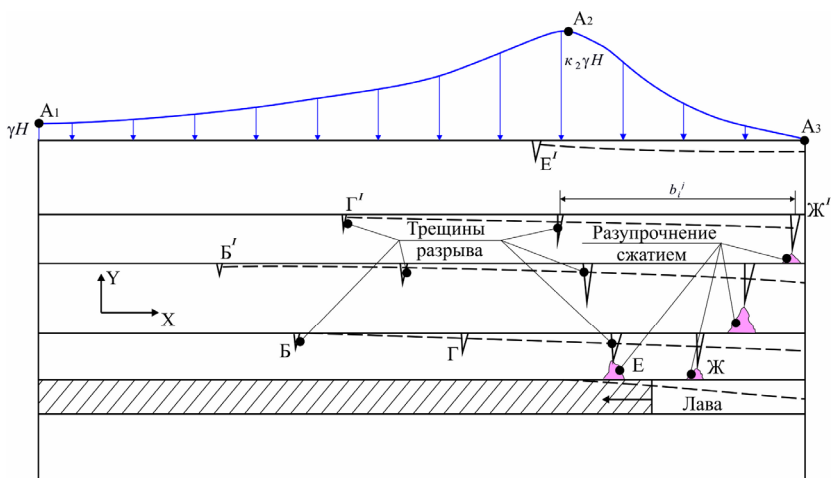


Рис. 5.8. К механизму зарождения и развития трещин в породных слоях надугольной толщи по мере подвигания очистного забоя

Рассмотренное выше схематическое представление механизма сдвига надугольной толщи в районе выемочной выработки дополнено рассмотрением в ее продольном направлении (плоскость YX), схема которого приведена на рис. 5.8. Здесь выбрано сечение YX на концевом участке лавы, где наиболее динамично изменяется эпюра горного давления, показанная линией A_1A_3 на рис. 5.6 и 5.8. Напомним общепризнанную закономерность плавного изгиба породных слоев кровли впереди очистного забоя и их послойное обрушение в выработанное пространство позади него с образованием породных консолей переменной длины [59 – 62]. Характерные для Западного Донбасса нарушенность контактов между слоями углевмещающей толщи и весьма низкое сопротивление растягивающим усилиям при развитой трещиноватости (обычно две-три основные системы трещин) обуславливают некоторую специфику процесса деформирования надугольной толщи впереди очистного забоя. Повышение опорного давления по мере приближения лавы (участок A_1A_2 эпюры σ_y) усиливает относительно независимое деформирование неоднородных слоев надугольной толщи, при изгибе которых возникают растягивающие напряжения σ_x (в верхней части мощности каждого слоя) еще на подходе к максимуму $\sigma_y = \kappa_2 \gamma H$ (точка A_2 на рис. 5.8) опорного давления. Заметим, что в слабых трещиноватых породах достаточно весьма небольших

растягивающих σ_x для зарождения и роста трещин техногенного происхождения (линии BB' , GG' , EE' и $ЖЖ'$). В сечении слоя, где образовалась трещина, резко снижается момент сопротивления этого сечения и здесь наиболее вероятно дальнейшее развитие трещин (по мере приближения лавы), которые в конце концов смыкаются с областью разрушенных пород (от концентрации сжимающих σ_x) в нижних частях каждого слоя и происходит их разделение на породные блоки длиной b_i^j .

С точки зрения устойчивости выемочной выработки образование трещин в близлежащих породных слоях впереди лавы повышает их деформируемость и снижает сопротивление опорному давлению, что неизбежно приводит к интенсификации процесса выдавливания пород в боках и почве выработки (см. рис. 5.7). Поэтому, для повышения надежности прогноза проявлений горного давления в разрабатываемых геомеханических моделях следует учитывать дискретную нарушенность породных слоев, усиливающуюся по мере приближения очистного забоя. Здесь один из основных вопросов заключается в том, каким образом учитывать эту дискретную нарушенность, для чего на рис. 5.9 приведен фрагмент деформирования частично нарушенной породной плиты с эпюрами распределения горизонтальных напряжений σ_x и σ_z , за счет действия которых возникает реакция сопротивления горному давлению. В таком представлении между частично нарушенными породными плитами в зоне опорного давления возникает подобие распорной системы, обладающей, с одной стороны, повышенной деформируемостью, а, с другой, – определенной несущей способностью за счет действия только сжимающих напряжений σ_x и σ_z по мощности слоя. При отсутствии из-за трещин растягивающих напряжений σ_x и σ_z в сечении породной плиты ее несущая способность реализуется за счет восстанавливающего момента от плеча равнодействующих усилий на противоположных поперечных плоскостях YX и YZ плиты как интегральных величин сжимающих σ_x и σ_z , по площадям их распределения на торцевых плоскостях. Такой механизм деформирования и взаимодействия близлежащих породных слоев с дискретной пространственной нарушенностью более достоверен, на наш взгляд, чем традиционные представления о сплошности массива (в зоне опорного давления впереди лавы) и появлении некоторых областей нарушенных пород.

В итоге, сформулированы некоторые выводы и рекомендации по принципам создания геомеханической модели сдвижения массива и нагружения крепи выемочной выработки в зоне влияния очистных работ.

Во-первых, частичное разупрочнение породных слоев надугольной толщи в виде их дискретной нарушенности в пространстве в областях растягивающих напряжений (в основном горизонтальных σ_x и σ_z) и высоких концентраций сжимающих напряжений приводит к увеличению объемов пород,

подверженных активным деформациям, а их разделение на систему взаимодействующих плит интенсифицирует процесс выдавливания частично разупрочненного приконтурного массива в боках и почве выработки.

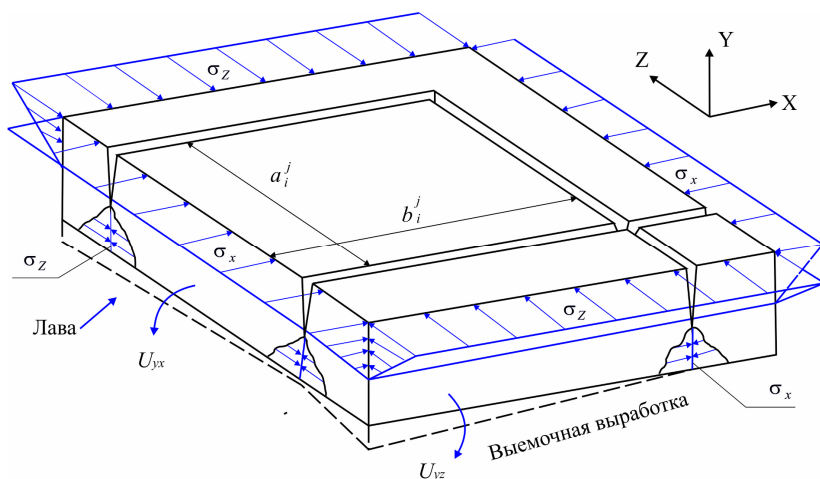


Рис. 5.9. Схема взаимодействия породных блоков в окрестности выемочной выработки

Во-вторых, создание и совершенствование (по пути повышения достоверности и объективности) геомеханической модели должно пройти ряд последовательных этапов, отражающих реальный процесс зарождения и развития дискретных нарушений в слоистой надугольной толще. Методологию поэтапного моделирования наиболее целесообразно использовать следующим образом:

- на первом этапе отображаются целостные слои углевмещающего массива в окрестности выемочной выработки и концевой участка лавы и определяются сечения, где развиваются максимальные растягивающие напряжения $(\sigma_{y,z,x})_{max}$, генерирующие расслоение породы и зарождение трещин

разрыва, а также максимальные значения интенсивности напряжений σ_{max} , которые в соответствии с выбранной теорией прочности обуславливают разупрочнение породы от сжимающих усилий;

- на втором этапе в выявленных сечениях и областях моделируются трещины или разупрочненные локальные объемы в упруго-пластической постановке, производится расчет НДС исследуемой пространственной геомеханической системы; устанавливаются новые зоны нарушенных пород от растягивающих и сжимающих нагрузок;

- на третьем этапе процедура повторяется с выявленными ранее и вновь

установленными нарушениями целостности геомеханической системы;

– совершенствование модели прекращается при отсутствии вновь появляющихся нарушений целостности углевмещающего массива и окончательно его НДС рассчитывается в упруго-вязко-пластической постановке, то есть, с учетом реологического фактора.

Последнее требование чрезвычайно важно, так как ранее была экспериментально установлена связь процесса нагружения концевых секций механизированного комплекса с технологическими параметрами ведения очистных работ, изменяющимися во времени: скорость подвигания очистного забоя V_c и продолжительность t его остановки. Поскольку доказано влияние опускания кровли на концевых участках очистного забоя на процесс нагружения крепежной системы выемочных выработок, то указанные технологические параметры также будут на него воздействовать и эти закономерности наиболее объективно изучать в реологической постановке.

Данное положение подтверждается комплексом экспериментальных исследований влияния скорости подвигания очистного забоя на геомеханические процессы в выемочных выработках ряда шахт Донбасса [66 – 68] – выявлена логарифмическая зависимость длины $l_{в.л}$ участка влияния лавы (на смещения породного контура выработки) от среднемесячной скорости V_m ее подвигания

$$l_{в.л} = 38,6 \ln V_m - 108,3, \text{ м} \quad (5.1)$$

Из уравнения регрессии (5.1) видно, что с увеличением скорости подвигания лавы растет протяженность выемочной выработки, попадающей в зону влияния очистных работ. Также установлено [68], что при росте V_m изменяются параметры зоны опорного давления впереди лавы: его максимум снижается и отодвигается от груди забоя в глубине массива.

Логично предположить, что остановка лавы на время t повлечет за собой изменение параметров сдвижения массива в окрестности выемочной выработки, так как время простоя очистного забоя вносит свой вклад в величину его среднемесячного подвигания.

5.3. МЕХАНИЗМ НАГРУЖЕНИЯ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ПОЗАДИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Шахтные измерения перемещений $U(Y, Z)$ породного контура в плоскости Y, Z поперечного сечения выемочной выработки однозначно указывает на закономерность затухания функции $U(x)$ по мере удаления лавы (координата X) от рассматриваемого сечения (см. рис. 4.1 – 4.4). Если максимальный градиент прироста смещений наблюдается в районе сопряжения с лавой и может достигать десятков мм/сут., то позади лавы скорость развития пере-

мещений затухает и на расстоянии порядка 20 – 60 м стабилизируются проявления горного давления, о чем свидетельствует незначительный прирост перемещений породного контура выработки $U(Y, Z)$, составляющий в среднем десятые доли мм/сут.

Процесс стабилизации нагружения крепежной и охранной конструкций выемочных выработок сам по себе, безусловно, позитивен, но здесь возникает вопрос: в каком состоянии подойдет выемочная выработка к участку стабилизации проявлений горного давления? Поэтому представляется чрезвычайно важным раскрыть механизм сдвижения надугольной толщи в окрестности выемочной выработки позади лавы как на ближнем к ней участке, так и на удалении в зоне стабилизации геомеханических процессов. Непрерывность протекания процесса сдвижения надугольной толщи во времени и пространстве обязывает учитывать предысторию ее деформирования до момента прохода лавы относительно рассматриваемого сечения выемочной выработки. Поэтому при обосновании механизма развития проявлений горного давления позади очистного забоя учтены представления (см. рис. 5.6 – 5.9) о зарождении трещин изгиба слоев надугольной толщи и образовании дискретных пространственных нарушений с формированием распорной системы из породных плит.

После прохода лавы активно развивается процесс послойного обрушения в первую очередь непосредственной, а затем и основной кровли с образованием в выработанном пространстве ряда характерных зон по высоте Y надугольной толщи. Согласно классическим представлениям [69 – 73] в выработанном пространстве (начиная от почвы пласта) формируются следующие зоны в сечении YZ по ширине выемочного участка:

- зона беспорядочного обрушения из полностью разрушенных пород непосредственной кровли и нижних слоев основной кровли мощностью 3 – 6 вынимаемых мощностей пологозалегающих пластов Донбасса, которая характеризуется значительной уплотняемостью (модуль деформации уменьшается на несколько порядков), подвижностью и высоким коэффициентом бокового распора (коэффициент поперечной деформации $\mu = 0,4 – 0,45$), приближающим напряженное состояние разрушенных пород к гидростатическому;

- зона шарнирно-блокового сдвижения, сложенная вышележащими слоями основной кровли высотой до 12 – 15 вынимаемых мощностей пологого угольного пласта, которая характеризуется разделением трещинами (перпендикулярными плоскостями) породных слоев на блоки переменной длины, взаимодействующих между собой за счет усилий распора (параллельных плоскостям напластований), благодаря чему развивается сопротивление опусканию вышележащих слоев в выработанное пространство;

- зона плавного прогиба слоев без нарушения сплошности, которая размещается выше предыдущей зоны и характеризуется только упруго-пластическими деформациями без появления очагов разрушения благодаря реакции отпора пород зоны шарнирно-блокового сдвижения.

Эти же зоны наблюдаются около боковых границ выработанного пространства, но их размеры будут отличаться в сравнении с центральной частью ширины выемочного участка. Кроме того, по длине выемочного участка (плоскость YX) в районе его боковых границ будут образовываться свои трещины разрыва (см. рис. 5.8) с формированием породных блоков (по координате X), которые при движении лавы преобразуются в консоли, зависающие над очистным забоем с последующим их обрушением в выработанное пространство. Таким образом, еще раз акцентируется внимание на образовании именно породных плит в зоне шарнирно-блокового сдвижения, которые оперты на нижележащие слои только по двум границам консоли: со стороны выемочной выработки и со стороны угольного пласта; две оставшиеся границы плиты зависают в угловой части выработанного пространства в районе сопряжения и на некотором расстоянии позади него. Далее развивается процесс опускания плит на обрушенные породы, который стабилизируется на некотором расстоянии позади лавы.

В связи с изложенным рассмотрен механизм сдвижения надугольной толщи позади очистного забоя поэтапно, уделив основное внимание развитию распорной системы из породных плит на боковой границе выемочного участка по мере удаления лавы:

- участок непосредственно сопряжения лавы с выемочной выработкой (иногда используется термин «окно» лавы);
- участок потери устойчивости породных консолей и опускания распорной системы из породных плит (на боковой границе выемочного столба) на разрушенные нижележащие породы;
- участок уплотнения обрушенных пород и частичной консолидации разупрочненного массива в выработанном пространстве под воздействием горного давления в зоне его стабилизации.

Рассмотрен участок сопряжения выемочной выработки с лавой, включающий также вылет фронтальных консолей позади концевых секций механизированной крепи и боковых консолей вдоль выработки, где возведенная охранная конструкция на ее берме и обрушенные породы еще не взаимодействуют в полной мере с опускающимися породами основной кровли. Схема деформирования надугольной толщи на отмеченной длине выработки (объединяющей первые два вышеуказанные участки) в пространственном представлении показана на рис. 5.10. Здесь, на наш взгляд, отражены основные позиции, обязательные к учету при разработке геомеханической модели.

Во-первых, необходимо отразить данное пространственное представление механизма формирования породных плит за счет возникновения и роста трещин разрыва вдоль и поперек выемочного участка в районе его угловой части. Образование отдельных плит в зоне шарнирно-блокового сдвижения заканчивается разупрочнением некоторых объемов (как правило, в сечениях, ослабленных трещинами разрыва) за счет концентрации сжимающих напряжений, превосходящих сопротивление сжатию соответствующих слоев.

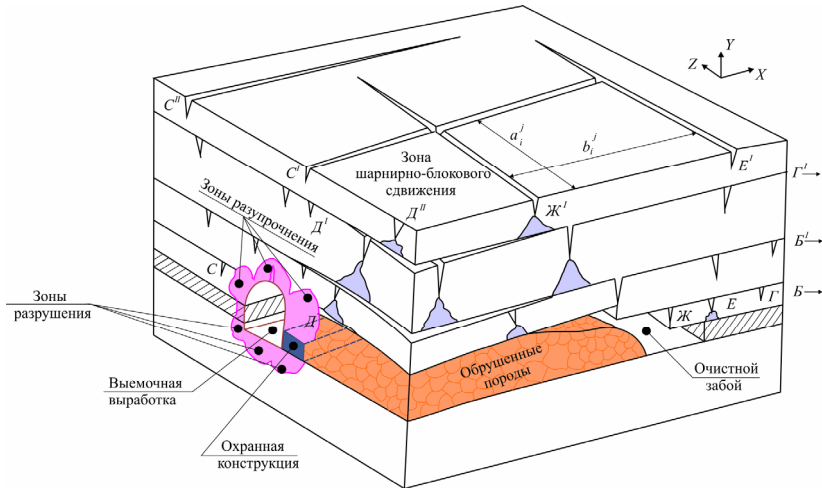


Рис. 5.10. Пространственное представление схемы сдвига надугольной толщи в районе сопряжения выемочной выработки с лавой

Во-вторых, по высоте кровли (координата Y) породные слои находятся в неодинаковых условиях нагружения. Нижележащие слои шарнирно-блокового сдвига имеют пониженную реакцию отпора (со стороны концевых секций механизированной крепи и разупрочненных пород в окрестности выработки) по отношению к нагрузке со стороны опускающихся вышележащих слоев; первые подвержены действию более интенсивного изгибающего момента и по этой причине разделяются на породные плиты менее крупных размеров a_i^j и b_j^i (см. рис. 5.10). Следовательно, необходимо учитывать тенденцию возрастания по высоте размеров породных плит (связанную с геомеханикой их нагружения), на которую накладывается влияние структуры надугольной толщи в части разновеликого момента сопротивления изгибу сечений литологических разностей, залегающих в кровле. Таким образом, необходимо рассматривать процесс взаимодействия элементов геометрически неоднородной системы из породных плит, обладающих к тому же разными механическими характеристиками.

В-третьих, необходимо учитывать изменение граничных условий нагружения и взаимодействия плит на коротком участке (по длине выемочной выработки) от груди очистного забоя до начала их контакта с обрушенными породами в выработанном пространстве. Так, по ширине сопряжения плиты опираются на нижележащие породы по двум своим границам, а также испытывают реакции отпора концевых секций механизированной крепи. Сразу же позади «окна» лавы условия нагружения породных плит изменяются по причине небольшой длины вылета устойчивых породных консолей в Западном Донбассе: опирание плиты на нижележащие породы происходит только по

границе вдоль выработки; по остальным границам взаимодействие происходит только за счет напряжений $\sigma_{X,Z}$ распора с соседними плитами; плиты нижнего слоя начинают контактировать с охранной конструкцией и обрушенными породами, испытывая некоторую реакцию, способствующую повышению их устойчивости.

В-четвертых, необходимо учитывать развитие во времени и пространстве процесса опускания породных плит по аналогии с выводами п. 5.1: в процессе их деформирования изменяются условия нагружения, появляются новые концентрации напряжений и соответствующие им нарушения внутри породных плит – их размеры уменьшаются и изменяется характер проявлений горного давления в окрестности выемочной выработки.

Отмеченные позиции механизма сдвижения надугольной толщи в районе сопряжения лавы и выработки более детально рассмотрены на плоских схемах деформирования пород кровли в поперечном (YZ) и продольном (YX) сечениях выемочной выработки и окружающего ее массива.

На рис. 5.11 приведена схема деформирования пород кровли и образования зоны шарнирно-блокового сдвижения вдоль выемочной выработки в районе ее сопряжения с лавой. Непосредственная кровля уже над рабочим пространством лавы интенсивно разрушается с разделением на блоки небольших размеров, а позади очистного забоя дезинтеграция развивается и породы непосредственной кровли все более приобретают свойства квазисыпучей среды. Если ее увеличения в объеме (при разрыхлении) недостаточно для компенсации извлеченного объема угля и создания подпора опускающимся породам основной кровли, то происходит отслоение нижних пачек последней до наступления равновесного состояния за счет реакции пород зоны беспорядочного обрушения. Но, окончательно равновесие наступает в зоне стабилизации проявлений горного давления, а на рассматриваемом участке состояние надугольной толщи непрерывно меняется.

В основной кровле при подходе лавы зарождается и постоянно развивается процесс разделения слоистого массива на отдельные блоки – формируется зона шарнирно-блокового сдвижения. В верхней части каждого породного слоя (при его прогибе в сторону почвы пласта) появляются трещины разрыва от растягивающих напряжений σ_x , момент сопротивления поперечного сечения слоя резко снижается и при дальнейшем увеличении прогиба происходит разрушение нижней части слоя от концентрации сжимающих компонент напряжений – по всей мощности слоя образуется магистральное нарушение (трещина), отделяющая породный блок от остального массива. Длина блоков постоянно меняется во времени и пространстве. Так, по высоте основной кровли прогибы вышележащих слоев постепенно снижаются – концентрации растягивающих и сжимающих напряжений уменьшаются по абсолютной величине и их количество, способное образовать магистральное нарушение (по мощности слоя), также сокращается; следовательно, длина (по координате X) породных блоков имеет тенденцию к

увеличению по высоте основной кровли, что является общепризнанным фактом. Другая тенденция заключается в росте прогибов породных слоев с увеличением расстояния от груди забоя; появляются новые разрушающие концентрации напряжений и происходит подобие «вторичного» разделения породного блока на более мелкие – их длина сокращается (в пределах одного слоя) по мере отхода лавы. Третий фактор уменьшения длины блоков – реологический, обуславливающий снижение прочностных свойств пород во времени, интенсивность которого наиболее высока в первые несколько суток нагружения, то есть, как раз на участке сопряжения и позади него в начальный период взаимодействия с охранной конструкцией. Четвертый фактор – высокая вероятность увеличения водопритока по трещинам, разделяющим породные блоки, что обуславливает снижение прочностных характеристик пород [51, 52] и уменьшение длины породных блоков по вышеуказанным причинам. Кроме того, на перечисленные факторы и закономерности накладывается влияние структуры надугольной толщи и вариация механических свойств слагающих ее литологических разностей. Поэтому разнообразие горно-геологических условий может существенно исказить тенденции увеличения размеров блоков по высоте массива (координата Y) и их уменьшения по мере отхода лавы (координата X) в геометрически неоднородном строении зоны шарнирно-блокового сдвижения.

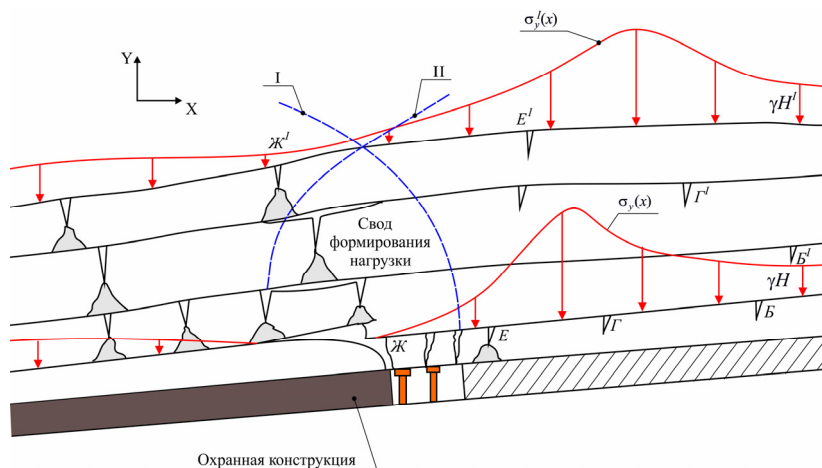


Рис. 5.11. Схема образования и развития зоны шарнирно-блокового сдвижения вдоль выемочной выработки в районе ее сопряжения с лавой

Существующие исследования утверждают, что формирование нагрузки на секции механизированной крепи, в том числе и концевые, обусловлено строением зоны шарнирно-блокового сдвижения. Более конкретно, выработаны представления [74 – 82] о том, что нагрузка на крепь очистного забоя

образуется весом неустойчивых пород внутри свода, формирующегося над выработанным пространством (см. рис. 5.11, пунктирные линии) и имеющим подобие свода естественного равновесия. В работах [82 – 84] даже приводится система доказательств о форме свода, описываемой уравнением параболы, так же, как и в классической гипотезе свода предельного равновесия проф. М.М. Протодяконова. Свод формируется двумя контурами [85 – 87]: контур I представлен поверхностями зависающих породных консолей (над выработанным пространством), опирающихся на призабойную часть угольного пласта; контур II образуется границей породных блоков, которые при опускании уже практически по всей своей поверхности контактируют с обрушенными породами; ближайшие (в сторону груди забоя) от этих блоков породные плиты находятся в районе изменения знака кривизны изгиба слоев кровли, где как раз образуются магистральные трещины, разделяющие породные слои на блоки; они за счет усилий распора зависают над выработанным пространством и участвуют в нагружении концевых секций механизированной крепи и крепежной системы выемочной выработки.

Анализ современных исследований показывает, что оба контура I и II (см. рис. 5.11) изменяют свое положение в пространстве в зависимости от геомеханических и технологических факторов ведения очистных работ. Геомеханические факторы – строение и свойства надугольной толщи, уровень действующих напряжений – безусловно играют главную роль в развитии проявлений горного давления, но также общеизвестно, что этот процесс имеет временную составляющую. Поэтому геомеханические факторы изменяют свое влияние в зависимости от продолжительности воздействия тех или иных аномалий горного давления. Среди технологических факторов большинство исследований указывает на наиболее активно влияющие – среднесуточная скорость V_c подвигания очистного забоя и продолжительность t его простоя. Например, моделированием на эквивалентных материалах установлена [82, 83] тенденция увеличения длины породных консолей с ростом среднемесячной скорости V_m подвигания очистного забоя, куда составляющей входит и продолжительность его простоя.

Рассмотрен механизм влияния параметров V_c и t на положение каждого из контуров I и II, что схематически представлено на рис. 5.12.

Контур I границ зависающих породных консолей определяется комплексом взаимосвязанных процессов деформирования произвольного слоя основной кровли в районе сопряжения выемочной выработки с лавой, которые зависят от: мощности слоя, его прочностных, деформационных и реологических характеристик; реакции P_n подпора нижележащих слоев и нагрузки P_g от опускающихся вышележащих слоев. С увеличением скорости подвигания очистного забоя сокращается продолжительность действия процесса расслоения надугольной толщи – снижение реакции P_n подпора нижележащих слоев замедляется, а нагрузка P_g со стороны вышележащих слоев еще не успевает существенно развиться, так как последние пока сохраняют устойчивое состояние. Следовательно, увеличивается устойчивая длина вылета

породных консолей над концевым участком очистного забоя; контур I наклоняется в сторону выработанного пространства (уменьшается угол φ_1), что соответствует снижению объема неустойчивых пород внутри свода предельного равновесия. Эту тенденцию усиливает реологический фактор: пониженная продолжительность действия повышенных нагрузок (при увеличении V_c) ограничивает реологические закономерности снижения прочностных и деформационных характеристик пород во времени. Значит, устойчивость породных консолей сохраняется в большей степени, чем при пониженной скорости подвигания очистного забоя (линия I'). В целом влияние V_c таково, что с ее снижением длина консолей над забоем уменьшается, угол φ_1 увеличивается и контур I' изменяет свое положение в сторону угольного пласта, а объем неустойчивых пород увеличивается. Данная закономерность подтверждена многочисленными шахтными, лабораторными и аналитическими исследованиями [75, 82, 83, 85, 86], также как и другая – с увеличением времени t простоя лавы длина породных консолей над забоем снижается под воздействием тех же процессов расслоения основной кровли и реологических факторов. Более того, при длительных простоях и интенсивном водопритоке (в связи с образованием системы техногенных трещин) процесс расслоения активно развивается не только над выработанным пространством, но и в глубь массива над угольным пластом. В результате образуется линия скольжения разупрочненных пород с наклоном в сторону нетронутого массива (линия I'') под углом $\varphi_1 = 100 - 110^\circ$ [78]. При этом значительно увеличивается объем неустойчивых пород над концевым участком лавы.

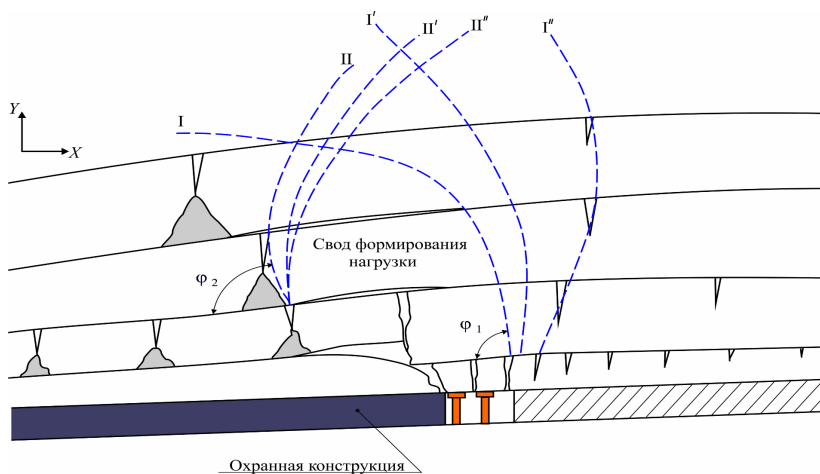


Рис. 5.12. Связь размеров свода формирования нагрузки на крепь (в районе сопряжения) с технологическими параметрами отработки пласта: I, II – $V_c = (V_c)_{mzx}$; I', II' – $V_c = (V_c)_{min}$; I'', II'' – $t = t_{mzx}$

Что касается пород кровли непосредственно над выемочной выработкой, то исследования [79 – 81] выявили следующие закономерности влияния скорости подвигания очистного забоя и времени его простоя. При повышении V_M влияние лавы развивается глубже в нетронутый массив, но величина сближения пород кровли и почвы в районе сопряжения меньше, чем при малых скоростях V_M подвигания. С другой стороны, при росте t также увеличиваются перемещения породного конура выработки в районе сопряжения. Следовательно, изменение положения контура I в сторону массива не только провоцирует повышенную нагрузку на концевые секции механизированной крепи, но и на крепежную и охранную системы выемочной выработки.

Те же процессы взаимодействуют на положение контура II, характеризующего изменение знака кривизны изгиба породных слоев и замыкающего свод неустойчивых пород со стороны выработанного пространства (см. рис. 5.12). При пониженной скорости подвигания лавы, тем более при ее остановке, процесс расслоения и опускания основной кровли интенсифицируется: нагрузка P_e со стороны вышележащих слоев увеличивается, реакция отпора P_n со стороны нижележащих слоев уменьшается, также как и сопротивление изгибу породных блоков (снижение прочностных характеристик породы во времени). В результате наблюдается подобие «вторичного» дробления породных блоков (плит) – их размеры уменьшаются и часть объема первоначального блока ложится на обрушенные породы и исключается из общего объема неустойчивых пород в своде, формирующих нагрузку на концевые секции. Контур II границы свода перемещается в сторону нетронутого массива (угол φ_2 возрастает) и последовательно занимает положения II' и II". Таким образом, снижение V_c и увеличение t способствуют уменьшению объема пород в своде предельного равновесия. Но, закономерности положения границ I и II с параметрами V_c и t таковы, что увеличение объема неустойчивых пород при перемещении контура I превосходит сокращение объема неустойчивых пород со стороны изменяющейся границы II и общие тенденции влияния технологических параметров следующие: нагрузка на концевые секции механизированной крепи, крепежные и охранные конструкции выемочной выработки возрастает с уменьшением скорости подвигания очистного забоя и увеличением времени его простоя.

Изложенные представления однозначно указывают на необходимость учета не только геомеханических, но и технологических факторов, развивающихся во времени, в связи с чем целесообразно использовать реологическую постановку задачи для более объективного и достоверного изучения процессов сдвижения надугольной толщи.

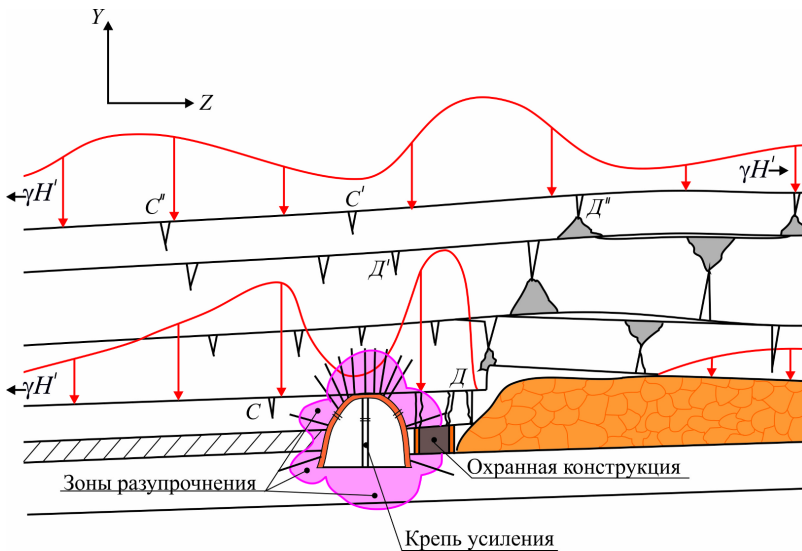


Рис. 5.13. Схема сдвижения пород кровли в районе сопряжения лавы и механизма нагружения крепежной и охранной систем в поперечном сечении выемочной выработки

Следующей позицией является рассмотрение механизма сдвижения пород кровли в районе сопряжения лавы в поперечном сечении выемочной выработки (рис. 5.13). В плоскости YZ происходят те же процессы зарождения трещин разрыва, их развития, разрушения ослабленных сечений от действия сжимающих напряжений и окончательного разделения породных слоев на блоки (плиты). В угловой части лавы породная плита зависает, опираясь на массив по координате Z в районе груди забоя (линия E) и по координате X (линия C вдоль выемочной выработки) как это показано на рис. 5.10. Плита на двух опорах генерирует концентрацию горного давления со стороны смежного выемочного участка и вдоль груди забоя в углу лавы. В то же время, над рабочим пространством лавы в районе ее сопряжения с выемочной выработкой происходит разгрузка от горного давления, так как опусканию породной плиты противодействует лишь крепь выемочной выработки, концевые секции механизированной крепи и деревянные стойки органной крепи на берме. С увеличением расстояния X от груди забоя одновременно происходят два события. *Во-первых*, исчезает опора плиты вдоль груди забоя и остается только одна линия опоры вдоль выемочной выработки; это провоцирует усиление опускания породной плиты в плоскости YZ с некоторым ростом опорного давления со стороны смежного выемочного участка. *Во-вторых*, возводится охранная конструкция, на которую (при своем опускании) начинают опираться породные плиты по высоте (координата Y) зоны шарнирно-блокового сдвижения. Из-за ограниченных размеров ох-

ранной конструкции здесь концентрация горного давления заметно выше, что отражается и на росте нагрузки на крепежную систему выемочной выработки со стороны лавы. Это опорное давление периодически меняется по мере разделения слоев основной кровли на блоки и опускания их части на нижележащий массив. При взаимодействии блока с обрушенными породами непосредственной кровли (на некотором расстоянии от выработки по координате Z) начинают расти вертикальные напряжения в выработанном пространстве. На определенной высоте Y зоны шарнирно-блокового сдвижения область полной разгрузки на концевом участке лавы исчезает и появляются, хотя и пониженные, вертикальные напряжения σ_y . Одновременно зона опорного давления над охранной конструкцией сглаживается с уменьшением максимумов σ_y . Аналогичные изменения по координате Y происходят и с зоной опорного давления со стороны смежного выемочного участка.

Описанные тенденции изменения горного давления в районе сопряжения лавы с выемочной выработкой наиболее важны с точки зрения формирования

нагрузки на ее крепежную и охранную системы, принимая во внимание конечную цель – обеспечение условий повторного использования выемочной выработки. На рис. 5.14 показан процесс изменения эпюр вертикального горного давления (компонента σ_y) и нагрузки P в окрестности выемочной выработки по мере отхода очистного забоя. Эпюра $\sigma_y(z)$ детализирует закономерности опускания породных плит на сопряжении с лавой и прилегающем участке позади нее. В сечении YZ выемочной выработки, пересекающем «окно» лавы, наблюдаются следующие закономерности изменения

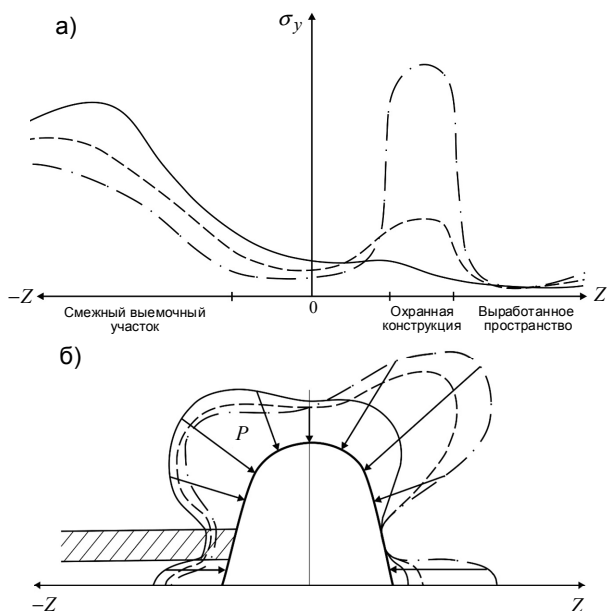


Рис. 5.14. Эпюры распределения вертикальных напряжений σ_y (а) и нагрузки P на крепь (б) выемочной выработки в районе ее сопряжения с лавой: — «окно» лавы; - - участок возведения охранной конструкции; - · - начало сопротивления охранной конструкции

эпюры σ_y (см. рис. 5.14, а, сплошная линия). Здесь крепежная система выемочной выработки благодаря определенной податливости (хотя и пониженной из-за стоек крепи усиления и опорно-анкерного крепления) разгружает породы кровли. На бровке выработки устанавливается в разбежку только деревянные стойки, а концевые секции крепи также благодаря режиму податливости способны «уходить» от повышенного горного давления; поэтому здесь также образуется разгруженная зона, несмотря на развитие повышенных опусканий кровли. Таким образом, большая часть горного давления передается на участок защемления породной плиты вдоль смежного столба, где образуется концентрация напряжений σ_y .

На участке возведения охранной конструкции на берме выработки устанавливается полноценная органная крепь, выполняющая роль обрезной, что сокращает вылет консолей породных плит в выработанное пространство. При этом за обрезной крепью (со стороны выработанного пространства) еще более усиливается разгрузка, а по ширине возводимой охранной конструкции горное давление возрастает (пунктирная линия на рис. 5.14, а). Уменьшенная длина консоли в выработанном пространстве и возросшее сопротивление обрезной крепи снижают горное давление по ширине выемочной выработки и величину опорного давления со стороны смежного выемочного участка. Наконец, на участке возведения в полном объеме охранной конструкции (штрихпунктирная линия на рис. 5.14, а), когда последняя вступает в контакт с опускающимися породными плитами и сопротивляется (пусть и не в полной мере) горному давлению наблюдаются следующие закономерности: за охранной конструкцией разгрузка усиливается; опорное давление на охранную конструкцию возрастает; вертикальная нагрузка на крепежную систему снижается, а опорное давление со стороны смежного выемочного столба распределяется на более широком участке (по координате Z) с пониженными максимальными значениями σ_y .

Приведенные закономерности распределения вертикальных напряжений σ_y формируют нагрузку P (нормальную к поверхности выработки), распределение которой характеризуется следующими особенностями. Во-первых, пониженная нагрузка в своде рамы и повышенная в боках выработки досталась в «наследство» от зоны опорного давления впереди лавы. Но здесь (сплошная линия на рис. 5.14, б) по высоте «окна» лавы боковая нагрузка P практически полностью исчезает, а по высоте бермы выработки формируется пониженная боковая нагрузка вследствие действия пониженной вертикальной нагрузки σ_y . Также из-за малой реакции деревянных стоек на породы кровли по ширине «окна» лавы боковая нагрузка в своде выработки имеет пониженную величину. На участке возведения охранной конструкции (см. рис. 5.14, б, пунктирная линия) нагрузка P со стороны смежного выемочного столба снижается, а со стороны выработанного пространства увеличивается. Еще более усиливаются асимметричность нагрузки P , когда

охранная конструкция вступает в работу: повышенное опорное давление на охранную конструкцию генерирует развитие усиленного бокового давления как в кровле, так и в почве пласта (штрихпунктирная линия на рис. 5.14, б).

Подводя промежуточные итоги выявленным тенденциям, необходимо отметить следующие позиции нагружения крепежной и охранной систем:

- *во-первых*, наблюдается крайняя неравномерность распределения нагрузки P по периметру выработки, которая негативно сказывается на ее устойчивости;

- *во-вторых*, жесткая охранная конструкция провоцирует формирование повышенного опорного давления на нее и, как следствие, – бокового давления на раму;

- *в-третьих*, благодаря вышесказанному, еще более усиливается асимметрия распределения нагрузки на крепь выемочной выработки, что подтверждается аналитическими исследованиями и шахтными экспериментами;

- *в-четвертых*, высокое опорное давление на берму выработки (передаваемое от охранной конструкции) способствует ее разупрочнению и созданию концентрации боковой нагрузки в районе опоры стойки рамы;

- *в-пятых*, интенсивная боковая нагрузка не соответствует конструктивным особенностям рамной крепи и ее работа в таких условиях малоэффективна.

Протяженный участок выемочной выработки позади очистного забоя ранее был разбит на три составляющих, два из которых рассмотрены, а третий участок имеет длину, на которой выработка поддерживается длительный срок (как правило, не менее 1,5 – 2 лет) до начала отработки смежного выемочного участка. На этой длине выработки и за соответствующий период времени происходит уплотнение частично или полностью разупрочненных пород над выработанным пространством отработанного участка, их консолидация с приобретением некоторых свойств квазисплошного массива [88 – 90]. Аномалии горного давления на отработанном участке постепенно снижают интенсивность своего проявления за счет релаксации напряжений и ползучести деформаций; максимумы опорного давления снижаются с расширением области распространения, а зоны разгрузки сокращаются с приближением напряжений к исходному состоянию нетронутого массива. Поэтому участок стабилизации и релаксации проявлений горного давления характеризуется продолжительным во времени процессом постепенного снижения неравномерности его распределения в окрестности выемочной выработки и поясняется эпюрами на рис. 5.15.

Закономерности изменения во времени t эпюры вертикальных σ_y в окрестности выемочной выработки имеют следующие особенности (см. рис. 5.15, а). На границе смежного выемочного участка образовавшаяся ранее зона опорного давления постепенно преобразуется в направлении снижения максимумов σ_y , их перемещения в глубь нетронутого массива и рассредоточения по его ширине (координата Z). В кровле выработки напряжения σ_y

постепенно растут, ограничивая зону разгрузки с более равномерным распределением горного давления по ширине выработки. Эти закономерности обусловлены двумя факторами: *во-первых*, «вторичным» разделением образовавшихся ранее породных блоков на более мелкие (уменьшается их длина a_i^j , см. рис. 5.10); *во-вторых*, изменением деформационных характеристик обрушенных пород по мере их уплотнения под воздействием

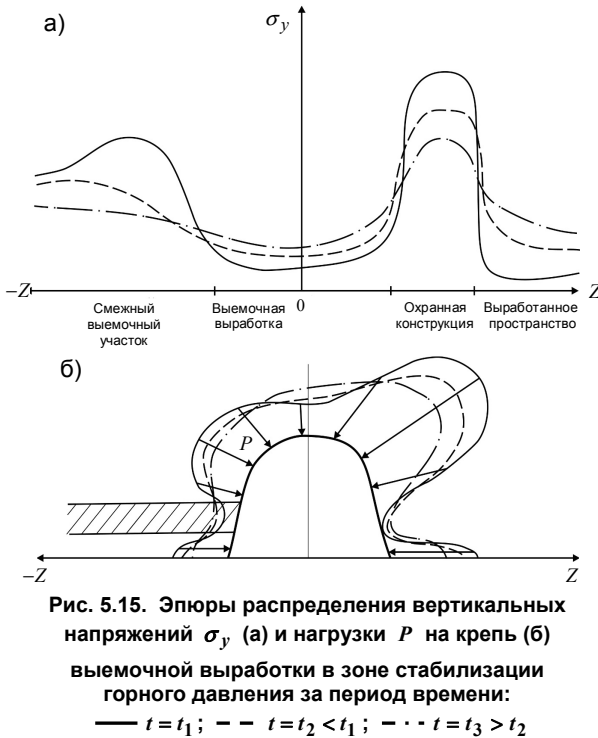


Рис. 5.15. Эпюры распределения вертикальных напряжений σ_y (а) и нагрузки P на крепь (б) выемочной выработки в зоне стабилизации горного давления за период времени:
— $t = t_1$; - - $t = t_2 < t_1$; - · - $t = t_3 > t_2$

горного давления. Более мелкие породные блоки при взаимном деформировании и перемещении соответствуют сглаживанию концентраций напряжений σ_y и более равномерной их передаче на нижележащие слои. В части деформационных характеристик обрушенных и уплотненных пород исследования [90, 91] установили тенденцию увеличения коэффициента бокового распора (рост коэффициента μ поперечной деформации) по мере их уплотнения, то есть, с течением времени обрушенные породы приобретают некоторые свойства гидростатической среды с выравниванием напряжений в различных направлениях. Их способность к повышенным боковым перемещениям нивелирует участки концентрации σ_y за счет перераспределения давления на соседние участки, что в целом сглаживает аномалии проявлений горного давления. Этому также способствуют реологические свойства горных пород (особенно развиты в Западном Донбассе) – релаксация концентрации напряжений σ_y и ползучесть деформаций в направлении от более нагруженной области к менее нагруженной.

Те же факторы «вторичного» разделения и уменьшения размеров породных блоков, увеличения коэффициента бокового распора уплотненных обрушенных пород и развития их реологических свойств приводят к снижению

горного давления. Более мелкие породные блоки при взаимном деформировании и перемещении соответствуют сглаживанию концентраций напряжений σ_y и более равномерной их передаче на нижележащие слои. В части деформационных характеристик обрушенных и уплотненных пород исследования [90, 91] установили тенденцию увеличения коэффициента бокового распора (рост коэффициента μ поперечной деформации) по мере их уплотнения, то есть, с течением времени обрушенные породы приобретают некоторые свойства гидростатической среды с выравниванием напряжений в различных

концентрации σ_y по ширине (координата Z) охранной конструкции и увеличению σ_y в выработанном пространстве. Так, «обрезание» породных консолей, зависающих над охранной конструкцией, объективно снижают вес пород, формирующих на нее нагрузку; повышенная боковая подвижность обрушенных и уплотненных пород отчасти выравняет поле σ_y в выработанном пространстве, приближая его к исходному состоянию нетронутого массива ($\sigma_y = \gamma H$).

Описанные процессы способствуют сглаживанию концентраций нагрузки P на крепежную систему выемочной выработки и более равномерному распределению по ее контуру (см. рис. 5.15, б). Конечно, об относительной равномерности распределения нагрузки P по контуру выработки можно говорить с достаточной степенью условности; тем не менее, происходят следующие длительные процессы в зоне установившегося горного давления. Со стороны смежного выемочного участка боковая и косонаправленная нагрузка P снижается по причине уменьшения концентрации σ_y в зоне опорного давления в боку выработки и ее перемещения в глубь массива. На участке контура по мощности угольного пласта боковая нагрузка несколько увеличивается за счет частичного его разупрочнения и повышения деформируемости под воздействием реологического фактора. В кровле выработки нагрузка P увеличивается благодаря дроблению породных блоков основной кровли над выработкой и их перемещения в ее полость; также здесь присутствует фактор перераспределения повышенной косонаправленной нагрузки P со стороны выработанного пространства за счет роста деформируемости мелкодробленых и уплотненных приконтурных пород. Концентрация косонаправленной боковой нагрузки со стороны выработанного пространства снижается за счет уменьшения опорного давления на охранную конструкцию и частично перераспределяется P на разгруженные участки контура выработки. Боковая нагрузка по высоте охранной конструкции изменяется мало существенно, а возмущение давления P возможно только при разрушении охранной конструкции. Нагрузка со стороны пород бермы выемочной выработки снижается за счет уменьшения опорного давления на охранную конструкцию.

В итоге, можно отметить, что участок стабилизации проявлений горного давления (по длине выработки) вполне оправдывает свое название, так как на его протяжении, несмотря на некоторое увеличение смещений породного контура, происходит уменьшение опасных концентраций нагрузки P и ее более равномерное распределение по контуру, что способствует увеличению несущей способности крепежной системы и повышению устойчивости выемочной выработки в целом. Отсюда следует вывод, что наиболее опасный участок выемочной выработки (с точки зрения аномалий проявлений горного давления) находится в районе ее сопряжения с лавой: если здесь обеспечить устойчивое состояние выемочной выработки (за счет рациональных параметров

крепёжных и охранных систем), то в дальнейшем не предвидится существенных трудностей по сохранению ее эксплуатационного состояния, принимая во внимание некоторые ремонтные работы (в основном, подрывку почвы) при возникновении необходимости в их проведении.

Анализ процессов сдвижения надугольной толщи и механизма нагружения крепёжных и охранных систем выемочных выработок на сопряжении с очистным забоем и позади него позволили сформулировать ряд обобщений для дальнейшей реализации выявленных закономерностей и тенденций в конкретных геомеханических моделях и рекомендациях по повторному использованию выемочных выработок.

Во-первых, для более адекватного моделирования реальных процессов сдвижения надугольной толщи в районе сопряжения лавы и выемочной выработки необходима пространственная постановка задачи взаимодействия элементов геометрически неоднородной распорной системы из породных плит с разными механическими характеристиками. При этом следует учесть, что геометрическая неоднородность и условия на границе системы непрерывно изменяют свои параметры в пространстве и времени по мере отхода очистного забоя.

Во-вторых, на базе существующих шахтных исследований, результатов вычислительного эксперимента и моделирования на эквивалентных материалах разработано положение о том, что нагрузка на крепь очистного забоя, в том числе и концевых секций, формируется весом неустойчивых пород внутри свода, ограниченного со стороны забоя поверхностями зависающих породных консолей, а со стороны выработанного пространства – поверхностями изменения знака кривизны изгиба породных слоев при их опускании на нижележащие породы. Оба контура свода (со стороны забоя и выработанного пространства), помимо тесной связи с геомеханическими факторами, подвержены существенному влиянию технологических параметров – скорости подвигания очистного забоя и продолжительности его остановки. Эти закономерности еще раз подчеркивают необходимость реологической постановки задачи для достоверного отражения исследуемых геомеханических процессов и разработки эффективных рекомендаций по поддержанию повторно используемых выработок.

В-третьих, по мере вступления в работу охранной конструкции по ее площади формируется высокое опорное давление, которое еще более усиливает асимметрию распределения нагрузки на крепёжную систему, что резко снижает ее несущую способность. Более того, сама рамная крепь не предназначена для сопротивления высоким боковым нагрузкам, поэтому она нуждается в усилении в заданном направлении, что наиболее эффективно осуществлять, на наш взгляд, за счет создания рамно-анкерной крепи с пространственно-податливыми связями боковых анкеров и стоек рам. Другим направлением повышения устойчивости выемочной выработки является управление эпюрой распределения нагрузки на крепёжную систему за счет регулирования деформационно-силовой характеристики охранной конструк-

ции в соответствии с особенностями проявлений горного давления.

В-четвертых, участок стабилизации проявлений горного давления характеризуется частичным нивелированием геостатических аномалий благодаря совместному действию факторов реологии, уплотнения и консолидации ранее разупрочненных пород над выработанным пространством, что облегчает работу крепежной и охранной систем. Поэтому представляется чрезвычайно важным обеспечение устойчивости выемочных выработок в районе их сопряжения с лавой, что является гарантией создания ресурсосберегающих перспектив их повторного использования.

ВЫВОДЫ

Раскрыты основные особенности геомеханики сдвижения надугольной толщи и механизма нагружения крепежной и охранной систем повторно используемых выемочных выработок в условиях отработки угольных пластов в Западном Донбассе. Основные выводы и направления дальнейших исследований по реализации основной цели – обеспечение ресурсосберегающих условий повторного использования выемочных выработок сводятся к следующему.

1. Проведенные экспериментальные исследования процессов сдвижения углевмещающего массива в выемочных выработках и на концевых участках очистных забоев сформировали регулярно пополняемую базу данных особенностей проявлений горного давления на шахтах Западного Донбасса, которая положена в основу созданного механизма нагружения крепежной и охранной конструкций как первого этапа исследований по разработке рекомендаций применения ресурсосберегающих технологий поддержания выемочных выработок при их повторном использовании.

2. Эффективность повторного использования выемочных выработок определяется выбором параметров их поддержания, основанном на объективном и достоверном отражении геомеханических процессов, учитывающем «историю нагружения» крепежной и охранной систем на протяжении всего периода эксплуатации выработки, начиная от ее сооружения до отработки выемочного участка. Выделено три стадии развития проявлений горного давления во времени поддержания выемочных выработок с обоснованием особенностей сдвижения надугольной толщи слоистого массива слабых пород, характерных для условий Западного Донбасса: вне зоны влияния очистных работ; в зоне опорного давления впереди первой лавы; позади очистного забоя, включая участок стабилизации горного давления. Такой подход обеспечивает преемственность отражения механизма нагружения крепежной и охранной систем на разных участках выемочной выработки и взаимосвязь последующих рекомендаций по ее ресурсосберегающему поддержанию.

3. Экспериментальные исследования и многофакторное моделирование геомеханических процессов современными компьютерными технологиями

зафиксировали на разных шахтах Западного Донбасса в разных горно-геологических условиях непереносимое присутствие активного выдавливания пород боков и почвы выработки (особенно при применении опорно-анкерного крепления), которое названо нами «эффект штампа». Данное явление раскрыто в созданном механизме развития нагрузки на крепежную систему как вне, так и в зоне влияния очистных работ, где «эффект штампа» рассматривается в комплексе с процессом сдвижения надугольной толщи на концевых участках лавы, который также оказывает влияние на состояние выемочной выработки. Разработан механизм ограничения негативного воздействия «эффекта штампа» как основа конструктивно-технологических решений повышения устойчивости боков и почвы выемочных выработок в сочетании с опорно-анкерной крепью.

4. Сформулирован комплекс взаимосвязанных задач исследований, вытекающих из основных положений механизма нагружения крепежной системы выемочных выработок вне зоны влияния очистных работ, как первого периода их эксплуатации.

5. Сформулированы рекомендации по принципам создания геомеханических моделей сдвижения массива и нагружения крепежной системы в зоне влияния очистных работ. Обосновано, что частичное разупрочнение породных слоев надугольной толщи в виде их дискретной нарушенности в пространстве в областях растягивающих и высоких концентраций сжимающих напряжений приводит к увеличению объемов пород, подверженных активным деформациям, а их разделение на систему взаимодействующих плит интенсифицирует процесс выдавливания частично разупрочненного приконтурного массива в боках и почве выработки. Доказано влияние опускания кровли на концевых участках очистного забоя на процесс нагружения крепежной системы выемочных выработок. Также установлена связь этих процессов с рядом технологических параметров ведения очистных работ, протекающих не только в пространстве, но и во времени; поэтому закономерности развития нагрузки на крепежную систему наиболее объективно изучать в реологической постановке.

6. Обоснован алгоритм поэтапного совершенствования геомеханической модели в направлении повышения достоверности отражения реального процесса зарождения и развития дискретных нарушений в слоистой надугольной толще.

7. Повышение адекватности моделирования реальных процессов сдвижения надугольной толщи в районе сопряжения лавы и выемочной выработки обусловлено пространственной постановкой задачи взаимодействия элементов геометрически неоднородной распорной системы из породных плит с разными механическими характеристиками. При этом необходимо учитывать, что геометрическая неоднородность и условия на границе системы непрерывно изменяют свои параметры в пространстве и времени по мере отхода очистного забоя.

8. На базе существующих шахтных исследований, результатов вычислительного эксперимента и моделирования на эквивалентных материалах разработано положение о том, что нагрузка на крепь очистного забоя, в том числе и на концевые секции, формируется весом неустойчивых пород внутри свода, ограниченного со стороны забоя поверхностями зависающих породных консолей, а со стороны выработанного пространства – поверхностями изменения знака кривизны изгиба породных слоев при их опускании на нижележащие породы. Оба контура свода (со стороны забоя и выработанного пространства), помимо тесной связи с геомеханическими факторами, подвержены существенному влиянию технологических параметров – скорости подвигания очистного забоя и продолжительности его остановки. Эти закономерности еще раз подчеркивают необходимость реологической постановки задачи для достоверного отражения исследуемых геомеханических процессов и разработки эффективных рекомендаций по поддержанию повторно используемых выработок.

9. По мере вступления в работу охранной конструкции по ее площади формируется высокое опорное давление, которое еще более усиливает асимметрию распределения нагрузки на крепежную систему, что резко снижает ее несущую способность. Более того, сама рамная крепь не предназначена для сопротивления высоким боковым нагрузкам, поэтому она нуждается в усилении в заданном направлении, что наиболее эффективно осуществлять, на наш взгляд, за счет создания рамно-анкерной крепи с пространственно-податливыми связями боковых анкеров и рам. Другим направлением повышения устойчивости выемочной выработки является управление эпюрой распределения нагрузки на крепежную систему за счет регулирования деформационно-силовой характеристики охранной конструкции в соответствии с особенностями проявлений горного давления.

10. Участок стабилизации проявлений горного давления характеризуется частичным нивелированием геостатических аномалий благодаря совместному действию факторов реологии, уплотнения и консолидации ранее разупрочненных пород над выработанным пространством, что облегчает работу крепежной и охранной систем. Поэтому представляется чрезвычайно важным обеспечение устойчивости выемочных выработок в районе их сопряжения с лавой, что является гарантией создания ресурсосберегающих перспектив их повторного использования.

11. Обоснована необходимость учета ряда закономерностей для объективного и достоверного моделирования геомеханических процессов при повторном использовании выемочных выработок:

- анизотропию деформационных характеристик обрушенных пород в виде функций расстояния до очистного забоя, а также падение модуля деформации обрушенных пород на несколько порядков;

- НДС обрушенных и уплотненных пород приближается к гидростатическому благодаря их высокой деформативности.

6. ПОСТРОЕНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ И ОХРАНЫ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК. ПЕРВИЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ

6.1. ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ

Главная задача данного этапа исследований состояла в выявлении особенностей распределения полей напряжений и перемещений не только породного массива в окрестности выемочной выработки, но и в средствах ее крепления и охраны при повторном использовании. Затем, установленные особенности НДС, использовались для совершенствования крепежных и охранных систем повторно используемой выемочной выработки в соответствии с закономерностями изменения во времени и пространстве проявлений горного давления. Поэтому, для повышения адекватности отражения реальных условий поддержания выемочной выработки на протяжении всего периода ее эксплуатации и достоверности выполняемых расчетов геомеханическая модель построена на следующих принципах:

– *во-первых*, необходимо проследить состояние выемочной выработки на протяжении довольно длительного периода ее поддержания – ведь она предназначена для повторного использования и срок ее эксплуатации исчисляется годами; следовательно, необходимо учитывать реологические процессы в горном массиве в обширной области ведения очистных работ, а для этого должна быть использована реологическая постановка задачи;

– *во-вторых*, активно действуют факторы влияния очистных работ в первой лаве, затем длительное поддержание выемочной выработки на границе с выработанным пространством и, наконец, влияние очистных работ второй лавы – все эти факторы формируют вокруг выемочной выработки зоны аномального НДС, в которых происходит разупрочнение и разрушение массива; поэтому геомеханическая модель должна учитывать эти процессы, то есть, отражать состояние горной породы по полной диаграмме ее деформирования [3, 15];

– *в-третьих*, обе вышеуказанные позиции необходимо реализовывать для каждого породного слоя и угольных пластов на значительные расстояния в кровлю, почву и бока от места ведения горных работ – здесь моделируются не только непосредственная и основная кровля и почва, зоны опорного давления впереди лавы и по бокам выработки, области разгрузки в выработанном пространстве, но и вышележащие структуры плавного прогиба породных слоев без нарушения сплошности: для всей структуры углевме-

щающей толщии задаются реальные механические характеристики по данным геологических изысканий и лабораторных исследований;

– *в-четвертых*, эти же требования распространяются на моделирование всех элементов крепежных и охранных систем выемочной выработки с детальным их отражением.

Сформулированные принципы обуславливают построение весьма сложной геомеханической модели с введением обширного комплекса параметров, приближающегося к ста единицам. Попытки проведения такого вычислительного эксперимента не увенчались успехом по двум причинам:

– недостаток вычислительных мощностей даже у современной компьютерной техники;

– высокая сложность отработки такой геомеханической модели, когда большой массив входящих исходных параметров обуславливает постоянные сбои в программе расчета НДС по самым разнообразным причинам.

Поэтому, для реализации главной задачи исследований было проведено обоснование на тестовых упрощенных моделях следующей методики выполнения вычислительного эксперимента.

На первом этапе анализируется так называемая макромодель в пространственной постановке с размерами не менее 60 м: по высоте углевещающего массива (координата Y), по длине участка (координата X) и по длине лавы (координата Z). В данном объеме горного массива смоделированы: концевой участок лавы; участок выемочной выработки, включающий сопряжение с очистным забоем; участок впереди забоя лавы (зона опорного давления); участок выработанного пространства позади лавы с зонами беспорядочного обрушения, шарнирно-блокового сдвижения и плавного прогиба слоев без нарушения сплошности; участок нетронутого массива со стороны смежного выемочного столба при повторном использовании выработки. В описанной макромодели полностью реализуются первые три вышеуказанных принципа – учет реологии, полная диаграмма деформирования и реальные механические характеристики слоистого массива. Наряду с этим в макромодель введены существенные упрощения:

– *во-первых*, механизированная крепь представлена телом в виде параллелепипеда соответствующих размеров с деформационными характеристиками, позволяющими воссоздать реальную величину сопротивления секций механизированной крепи;

– *во-вторых*, выемочная выработка моделируется реальной геометрии, но без установки крепежной и охранных систем.

При таких упрощениях удалось добиться стабильности проведения вычислительных экспериментов и произвести расчет НДС макромодели.

На втором этапе исследуется названная нами подчиненная модель с размерами по высоте $y = 60$ м, по длине выемочной выработки (выемочного участка) $x = 4$ м, по простиранию пласта (длине лавы) $z = 40$ м. Здесь основное внимание уделяется НДС массива в окрестности выемочной выработки, ее крепежной и охранных системам. Поэтому, детально моделируются все

элементы поддержания выработки с учетом изменения проявлений горного давления по ее длине (характерные участки описаны ранее) и появления новых конструктивных элементов в системах поддержания выемочной выработки. Здесь по-прежнему выполняются принципы моделирования относительно учета реологического фактора, полной диаграммы деформирования материалов и среды, оперирования реальными механическими характеристиками изучаемого объекта. Тем не менее, за счет общего сокращения размеров пространственной модели и особенно по координате X (моделируются 5 рам по длине выемочной выработки, что обосновано при тестировании модели) удалось добиться стабильности выполнения расчетов.

Подчиненная модель исследуется для всех характерных участков по длине выемочной выработки, для каждого из которых обосновывается, строится и обрабатывается своя геомеханическая модель. Поэтому весьма обширный объем проведения вычислительных экспериментов выполняется не только в данном разделе, но и на последующих этапах исследований.

Конструктивно-технологические параметры крепежных и охранных систем детально анализировались, например, по паспортам крепления и охранных выемочных выработок шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Крепь штрека комбинированная в составе рам КШПУ-11,7 из СВП-22 (устанавливаются с шагом 0,8 м) и опорно-анкерного крепления из пяти сталеполимерных анкеров в кровле длиной 2,4 м (устанавливаются посередине между соседними рамами), которая моделируется на участке вне зоны влияния очистных работ. В зоне опорного давления впереди лавы (участок №2) под каждый верхняк устанавливается деревянная стойка (в качестве крепи усиления) и со стороны приближающейся лавы – дополнительный анкер (в районе замка податливости рамы) под углом $10 - 20^\circ$ к горизонтали. После прохода лавы (участок №3) возводится охранный система в составе: двух рядов деревянных стоек под брус, устанавливаемых на бровке штрека с шагом 0,8 м; усиленного деревянного костра из бруса $900 \times 150 \times 100$ мм; двух рядов органической крепи из деревянных стоек диаметром не менее 14 см.

Начальное состояние горного массива принято негидростатическим с коэффициентом бокового распора $\lambda = 0,43$ (коэффициент Пуассона принят $\mu = 0,3$). На участке №1 (вне зоны влияния очистных работ) начальное вертикальное горное давление принято $\sigma_y = \gamma H$. На участках №2 и №3 вертикальное горное давление определяется по эпюрам σ_y макромодели, при этом рассматривается самый неблагоприятный случай действия их максимального значения. Механические характеристики углевмещающего массива и его структура смоделированы по данным горно-геологического прогноза.

6.2. АНАЛИЗ НДС МАКРОМОДЕЛИ СЛОИСТОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ КОНЦЕВОГО УЧАСТКА ЛАВЫ И ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ

В соответствии с изложенной методикой проведен анализ НДС макромодели для общей оценки поведения массива в районе концевого участка длины лавы, ее сопряжения с выемочной выработкой и прилегающими участками впереди и позади очистного забоя и близлежащего массива горных пород.

В связи с регулярными изменениями структуры углевмещающего массива по длине выемочного участка выбрано одно из положений лавы по координате X , а одной из главных задач в данном исследовании (помимо общей оценки НДС) является установление закономерности влияния продолжительности t остановки лавы на НДС массива в целом и особенно пород вокруг выемочной выработки. Для этого использована реологическая постановка задачи, а влияние другого основного технологического параметра – среднесуточной скорости V_c подвигания очистного забоя изучается экспериментально.

Ранее были приведены экспериментальные данные по закономерностям формирования нагрузки на концевых секциях механизированной крепи при остановке очистного забоя. Сейчас задача состояла в установлении тенденций изменения НДС массива при остановке лавы. Причины остановки лавы разделены на две группы. *Первая* – предусмотренная технологией очистных работ остановка механизированного комплекса для технического обслуживания и ремонта продолжительностью до одной смены (6 часов), которая, как правило, сокращается при отсутствии необходимости проведения существенных ремонтных работ в современных условиях интенсификации добычных работ. *Вторая* – возникновение аварийной ситуации, обусловленной геомеханическими факторами, ошибками управления механизированным комплексом и его поломками. Статистика таких аварийных ситуаций указывает на их продолжительность, превышающую 6 часов, и в среднем составляющую 12 – 24 часа (за исключением посадки механизированного комплекса на «жесткую базу»). Поэтому, представляется целесообразным проследить изменение НДС окружающего массива продолжительностью t до одних суток ($t_{max} = 24$ часа).

В методологическом плане расчет изменения НДС массива производится от первой до последней секунды остановки механизированного комплекса, то есть мы можем оценить поведение окружающих пород в любой момент времени остановки комплекса. Но, чтобы не перегружать анализ обширной информацией, было принято решение выделить три значения времени среза НДС массива: $t \approx 0$ часов, $t = 12$ часов, $t = 24$ часа. Для этих значений t сформированы эпюры по каждой из компонент напряжений (вертикальные σ_y , горизонтальные вдоль длины выемочного участка σ_x и горизонтальные

по длине лавы σ_z , интенсивность или приведенные напряжения σ), а также эпюры полных перемещений U .

6.2.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

В соответствии с вышеизложенным, анализ НДС массива выполнен начиная с вертикальных напряжений σ_y , эпюры которых приведены на рис. 6.1 – 6.3. Для краткости изложения более подробно рассмотрена эпюра σ_y в момент остановки лавы ($t \approx 0$ часов), а развитие вертикальных напряжений с течением времени отмечено только для основных особенностей изменения σ_y при разном t .

При $t \approx 0$ часов (см. рис. 6.1) наиболее важные позиции НДС макромодели заключаются в следующем.

Первая – впереди очистного забоя образуется традиционная зона опорного давления, а ее особенностью являются ограниченные размеры по длине выемочного участка (координата X) наряду с глубоким распространением в кровлю и почву угольного пласта. Данный результат моделирования вполне согласуется с экспериментальными исследованиями, где отмечается, что интенсивное развитие перемещений породного контура выемочных выработок наблюдается на относительно небольшом расстоянии от груди забоя – до 20 – 30 м. В том же разделе при разработке механизма протекания геомеханических процессов дано объяснение этой особенности – в Западном Донбассе сочетание более крепкого угольного пласта и менее крепких и легко деформируемых пород кровли и почвы локализуют (по координате X) зону опорного давления впереди лавы, но усиливает в ней концентрацию σ_y , опять-таки из-за высокой жесткости угольного пласта. С другой стороны, развитие зоны опорного давления в кровлю и почву пласта (по координате Y) до 20 – 25 м и более объясняется повышенной деформируемостью слабых слоистых пород кровли и почвы с практически отсутствием сцепления между слоями. Относительно концентрации σ_y в зоне опорного давления впереди лавы расчет дает следующие результаты: концентрация $\sigma_y = (2,6...3,1) \text{ МПа}$ распространяется на высоту до 9,5 м и в почву на глубину до 11,6 м; величина $\sigma_y = (4,1...4,6) \text{ МПа}$ действует в кровле на высоту до 2,7 м и в почве на глубину до 3,2 м; кроме этого, присутствуют локальные (до 0,5 – 0,6 м) концентрации $\sigma_y = (5,3...6,3) \text{ МПа}$, а также действуют непосредственно в районе груди забоя растягивающие $\sigma_y = 0,5...1$ МПа весьма ограниченного распространения.

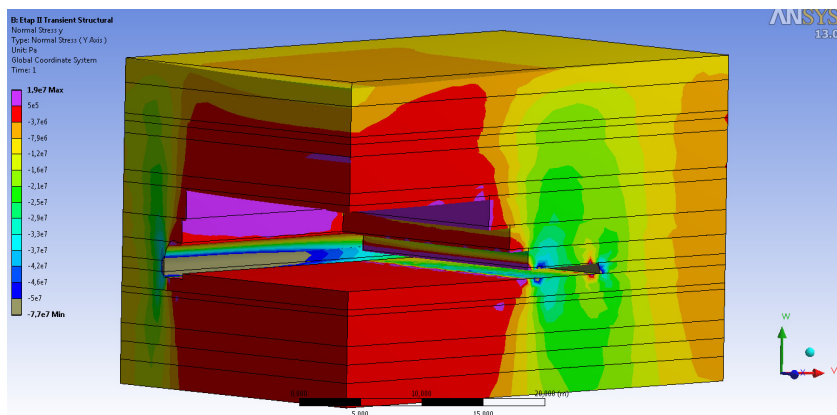


Рис. 6.1. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в макромоделе
в момент остановки лавы ($t \approx 0$ часов)

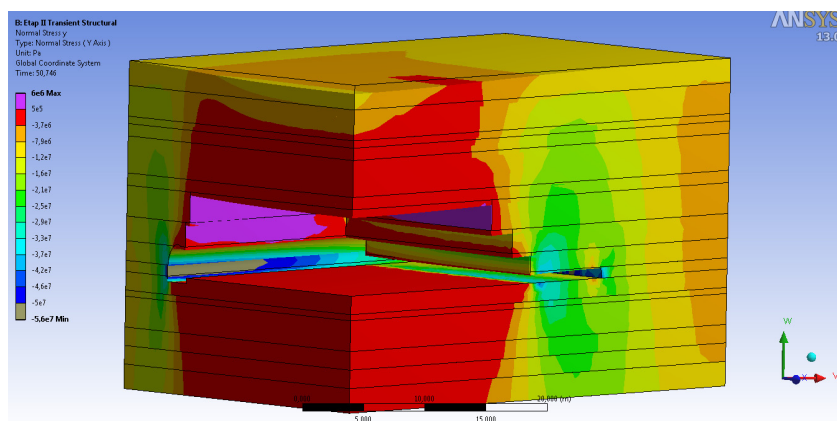


Рис. 6.2. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в макромоделе
при простое лавы ($t = 12$ часов)

Вторая позиция поля σ_y – зона разгрузки непосредственно над концевыми секциями механизированной крепи и прилегающем позади них выработанном пространстве. Здесь преобладают растягивающие вертикальные напряжения, которые охватывают породы кровли и почвы как в районе концевой участка лавы, так и в районе выемочной выработки. Растягивающие $\sigma_y = 0,5 - 1$ МПа распространяются на высоту в кровлю 9,7 – 16,8 м и глубину в почву 12,2 – 21,5 м. Несмотря на небольшую величину растягивающих σ_y , они провоцируют расслоение и опускание пород кровли и поднятие по-

род почвы позади очистного забоя и в выемочной выработке. Более того, в непосредственной кровле и ближних породных слоях основной растягивающие σ_y развиваются до 10 – 15 МПа и многократно превышают сопротивление растяжению пород любой литологической разности в Западном Донбассе. Следовательно, в кровле происходит не только расслоение породных слоев, но и их разрушение (от растяжения) на высоту до 6 – 7 м, что является одним из факторов формирования нагрузки на механизированную крепь очистного забоя, крепежную и охранную системы выемочной выработки. В почве таких значений растягивающих σ_y не наблюдается, однако обширный объем пород расслаивается в первую очередь по плоскостям напластования породных слоев, а во вторую – возможно разупрочнение пород почвы лавы и выемочной выработки при ее обводнении, когда сопротивление породы растяжению практически исчезает и опасными становятся даже небольшие растягивающие σ_y .

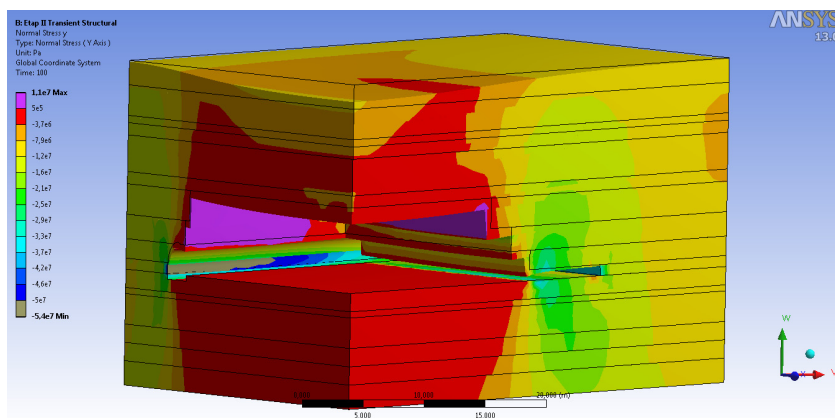


Рис. 6.3. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в макромоделе при простое лавы ($t = 24$ часа)

Третья позиция поля σ_y – концентрация сжимающих σ_y (зона бокового опорного давления) в боках выемочной выработки. Здесь опять проявляется такая особенность (благодаря специфическим свойствам углевлещающей породной толщи Западного Донбасса), как ограниченное распространение бокового опорного давления по простиранию пласта (координата Z) и увеличенная его протяженность в кровле и почве пласта. Так, если в боках выработки напряжения σ_y приходят к своему исходному состоянию \mathcal{H} уже на расстоянии 4,5 – 6 м, то в кровле и почве уровень $\sigma_y = (1,0 \dots 1,5)\mathcal{H}$ наблюда-

ется на расстоянии 18 – 25 м. Более высокий уровень концентрации $\sigma_y = (2,6...3,1) \gamma H$ распространяется в кровлю на высоту до 13,0 м и в почву на глубину до 7,6 м. Более весомую опасность для устойчивости боков выемочной выработки со стороны смежного (отрабатываемого позднее) выемочного участка представляет концентрация $\sigma_y = (4,1...4,6) \gamma H$, достигающая высоты в кровле пласта 3,0 м и глубиной 1,4 м в его почве. На контуре выработки (шириной 0,2 – 0,3 м) и по высоте ее прямолинейной части развиваются напряжения $\sigma_y = 50...70$ МПа, которые наверняка будут разрушающими. Но, если приконтурный массив будет в обводненном состоянии, то процессы его разупрочнения и разрушения распространятся на обширную область боковых пород с формированием соответствующей нагрузки на крепь. Также следует обратить внимание на изменение максимумов σ_y (на контуре) по длине выемочной выработки от 50 – 70 МПа на расстоянии более 11 – 12 м позади груди забоя до 29 – 33 МПа в районе сопряжения с лавой – налицо сдерживающее влияние груди забоя и подтверждение экспериментально установленным закономерностям нарастания горного давления в выемочных выработках после прохода лавы, а также основным положениям разработанного в разделе 6 механизма взаимовлияния концевой участка лавы и выемочной выработки.

Далее рассмотрены эпюры σ_y при $t = 12$ часов (см. рис. 6.2) и $t = 24$ часа (см. рис. 6.3) и проанализирована степень их изменения во время t остановки лавы; изучение этой закономерности проведено для трех основных позиций поля σ_y , рассмотренных выше.

В зоне опорного давления впереди лавы действуют следующие тенденции:
– *во-первых*, снижаются размеры самой зоны по всем направлениям – например, концентрация $\sigma_y = (2,6...3,1) \gamma H$ распространяется в кровлю на высоту до 9,5 м ($t \approx 0$ часов), а через 12 часов уже до 7,8 м, при $t = 24$ часа высота данной концентрации сокращается до 3,2 м;

– *во-вторых*, исчезают локальные аномалии растягивающих σ_y в непосредственной кровле и почве в районе груди забоя – уже при $t = 12$ часов здесь действуют только сжимающие $\sigma_y = (0,4...1,0) \gamma H$, которые продолжают увеличиваться при остановке лавы на 24 часа.

Таким образом, в зоне опорного давления впереди лавы наблюдается ярко выраженное реологическое явление – релаксация напряжений во время t простоя лавы.

В зоне разгрузки в районе концевой участка лавы и выемочной выработки происходят следующие процессы во время t простоя:

– зона распространения растягивающих σ_y в кровле постепенно увеличивается по высоте с достаточным постоянством в плоскости напластования

(координаты X и Z);

– в почве выработанного пространства глубина распространения растягивающих σ_y не зависит от t , а по координатам X и Z идет небольшое сокращение этой области;

– также сокращается область распространения и величина растягивающих напряжений уровня $\sigma_y = 10 - 15$ МПа в непосредственной и части основной кровли и почвы с увеличением времени остановки лавы.

Следовательно, и на участке позади лавы действуют процессы релаксации напряжений, что многократно подтверждено шахтными наблюдениями.

Закономерности изменения концентрации σ_y в зоне бокового опорного давления около выемочной выработки характеризуются так:

– снижается величина концентрации сжимающих σ_y и размеры областей их распространения с увеличением времени t остановки лавы; например, концентрация $\sigma_y = (3,6...4,1)H$ уменьшается по высоте в 6,5 раза при остановке лавы на 24 часа;

– снижаются размеры действия максимумов $\sigma_y = 50 - 70$ МПа на контуре выработки и более протяженный участок выработки за лавой испытывает пониженные концентрации уровня $\sigma_y = 33 - 37$ МПа.

Таким образом, во всех аномальных зонах вокруг выемочной выработки и концевой участка лавы активно проявляется релаксация вертикальных напряжений σ_y в процессе простоя лавы, а степень позитива или негатива в проявлениях горного давления от остановки очистного забоя оценена при анализе всех компонент НДС. Также следует отметить как минимум качественное соответствие результатов расчета поля σ_y шахтным экспериментам и разработанному механизму развития геомеханических процессов в исследуемом объекте.

6.2.2. АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ σ_x КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Следующей компонентой, подвергнутой анализу, являются горизонтальные напряжения σ_x , которые весьма информативно отражают процесс изгиба породных слоев и угольных пластов углевлещающей толщи вдоль выемочного участка (выработки). Так же выделены три аномальные зоны в модели: область опорного давления впереди лавы; область разгрузки позади лавы (в том числе в кровле и почве выемочной выработки); зона опорного давления в боку выработки со стороны смежного выемочного участка. Методика проведения анализа остается прежней и для отражения закономерностей изменения σ_x во время t простоя лавы использованы три момента: $t \approx 0$ часов – рис. 6.4, $t = 12$ часов – рис. 6.5, $t = 24$ часа – рис. 6.6.

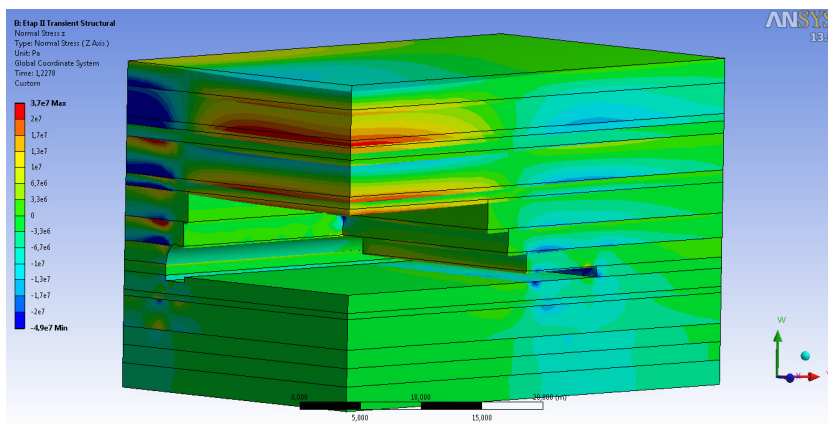


Рис. 6.4. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x в макромодел
в момент остановки лавы ($t \approx 0$ часов)

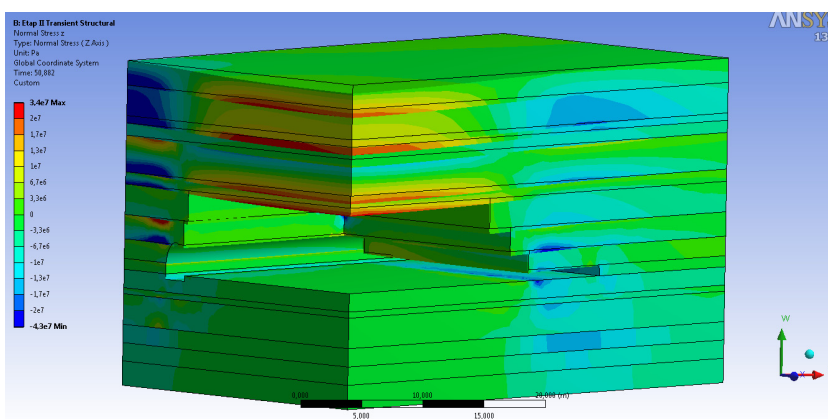


Рис. 6.5. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x в макромодел
при простое лавы ($t = 12$ часов)

Первая аномальная зона поля распределения σ_x – участок впереди очистного забоя. Здесь в полном согласии с разработанным ранее механизмом сдвижения углевмещающей толщи и современными представлениями о данном процессе наблюдается изгиб слоев надугольной толщи в сторону угольного пласта, о чем свидетельствуют концентрации сжимающих $\sigma_x = (2,3...4,0)\lambda H$ ($\lambda = \frac{\mu}{1-\mu}$ – коэффициент бокового распора в нетронутым массиве) в нижней части каждого породного слоя и разгрузка в верхней части слоев вплоть до появления растягивающих $\sigma_x = 8 - 10$ МПа в

более мощных слоях. Такая величина растягивающих σ_x (и даже в 2 – 3 раза меньшая обуславливает появление трещин разрыва и начало формирования зоны шарнирно-блокового сдвижения в основной кровле). Линия, характеризующая координаты максимальных изгибных напряжений σ_x , наклонена под углом 70 – 80° к плоскостям напластования и вполне согласуется с существующими представлениями. В почве пласта породные слои изгибаются менее интенсивно, тем не менее и здесь присутствуют концентрации σ_x порядка $(1,6...2,3)\lambda\gamma H$.

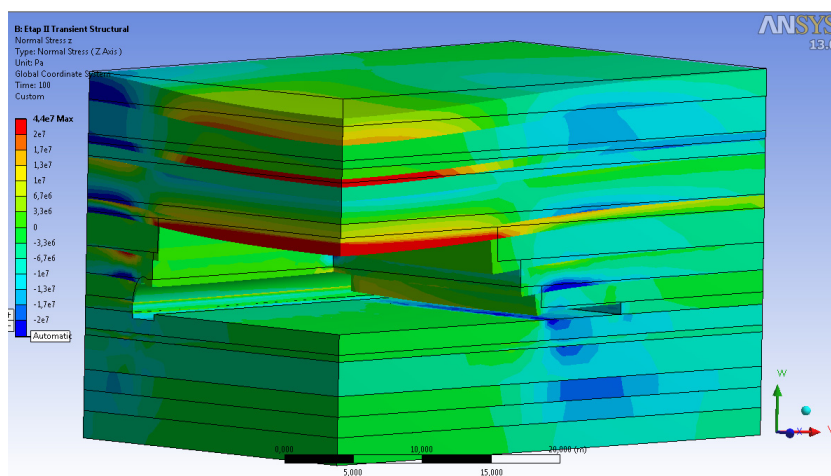


Рис. 6.6. Эпюра горизонтальных напряжений σ_x в макромодели при простое лавы ($t = 24$ часа)

Вторая аномальная область – зона разгрузки над выработанным пространством, в кровле и почве выемочной выработки. Здесь позади механизированной крепи происходит (по координате X) изменение знака кривизны изгиба породных слоев, интенсивность их прогиба увеличивается: сжимающие σ_x располагаются уже в верхней части слоев, а растягивающие σ_x – в нижней части и величина их возрастает до 15 – 35 МПа, что однозначно приводит к появлению и раскрытию трещин техногенного характера. В итоге опускающиеся на обрушенные породы вышележащие породные слои подвержены интенсивной трещиноватости с разделением слоев на блоки переменной длины по высоте надугольной толщи. В породах почвы выработанного пространства поле σ_x достаточно однородное и находится в разгруженном состоянии – $\sigma_x = (0...0,8)\lambda\gamma H$.

Следует обратить внимание, что координаты изменения знака кривизны

породных слоев кровли (над выработанным пространством) находятся на линии, наклоненной к плоскостям напластований под углом $70 - 80^\circ$ и это значение несколько выше, чем указано в большинстве исследований для Центрального Донбасса. На наш взгляд, данный факт обусловлен пониженными прочностными и деформационными характеристиками пород Западного Донбасса, которые при тонко- и среднеслоистой структуре не способны к образованию протяженных зависающих породных консолей над выработанным пространством, а их обрушение происходит гораздо ближе к ограждению механизированной крепи.

Что касается выемочной выработки, то в ее непосредственной кровле и ближних слоях основной существенных аномалий σ_x не наблюдается и объяснение этому явлению находится в плоскости анализа горизонтальных напряжений σ_z (будет приведен ниже). Сейчас же отметим, что в плоскости YZ происходит активный изгиб слоев над выработанным пространством, а кровля над выработкой как раз находится в области изменения знака кривизны изгиба и характеризуется достаточной однородностью поля σ_x . В почве выработки поле σ_x также относительно однородное, но с большим диапазоном колебаний от $-1,6\lambda\mathcal{H}$ до $+3,0\lambda\mathcal{H}$.

Третья аномальная область – зона бокового опорного давления со стороны смежного выемочного участка. В кровле пласта развиваются значительные возмущения поля σ_x , обусловленные нежестким защемлением породных консолей, зависающих над выемочной выработкой и далее над выработанным пространством. В нежестком защемлении изгиб направлен от угольного пласта вверх; поэтому концентрация сжимающих $\sigma_x = (4,0...7,0)\lambda\mathcal{H}$ располагается в нижней части каждого слоя, а растягивающие $\sigma_x = 15 - 35$ МПа в верхних частях некоторых наиболее жестких слоев. Значительные растягивающие σ_x провоцируют образование и раскрытие трещин и в кровле со стороны смежного выемочного участка. В почве пласта рассматриваемой области поле σ_x аналогично полю под выемочной выработкой, то есть без значительных знакопеременных возмущений.

Далее рассмотрено влияние продолжительности остановки лавы на изменение поля σ_x . В зоне опорного давления впереди лавы происходит небольшая релаксация напряжений σ_x за исключением более прочного и жесткого слоя песчаника. Это объясняется непрекращающимся во времени опусканием вышележащих пород основной кровли и песчаник, как более жесткое тело, воспринимает на себя эти перемещения. Так что можно говорить о достаточной стабильности поля σ_x во времени t относительно надугольной толщи. В породах почвы, наоборот, происходит уверенный рост σ_x без явно выраженных аномалий до уровня $\sigma_x = (2,3...5,1)\lambda\mathcal{H}$ и это опять-таки обусловлено постоянным сдвигением надугольной толщи во времени.

В зоне разгрузки в районе выработанного пространства, кровли и почвы выемочной выработки продолжительность t времени остановки лавы влияет следующим образом:

– в более жестких литологических разностях кровли (над выработанным пространством) происходит увеличение растягивающих напряжений σ_x до заведомо разрушающих значений в 15 – 40 МПа, что провоцирует развитие во времени процесса обрушения породных слоев и уменьшение устойчивой длины их консолей (вполне соответствует сложившимся геомеханическим представлениям);

– в менее жестких слоях происходит уменьшение растягивающих σ_x (по абсолютной величине) и их постепенный переход в сжимающие σ_x с общей тенденцией роста; таким образом, в данной области следует говорить не о явлении релаксации напряжений σ_x , а о развитии процесса сдвигания наугольной толщи во времени остановки лавы, что подтверждается экспериментальными исследованиями формирования нагрузки на механизированную крепь;

– породы почвы над выработанным пространством можно разделить на две области (позади лавы и под механизированной крепью) по интенсивности роста σ_x во времени t ; позади лавы происходит небольшой рост $\sigma_x(t)$ в отдельных слоях, а в целом ситуация достаточно стабильна во времени; под механизированной крепью интенсивность роста σ_x более существенна и при $t = 24$ часа σ_x увеличивается в 1,4 – 2,7 раза;

– в породах кровли и почвы выемочной выработки имеет место небольшой рост σ_x в среднем на 20 – 30% при $t = 24$ часа по сравнению с моментом остановки лавы.

В зоне бокового опорного давления наблюдается некоторое сокращение аномалий σ_x обеих знаков.

В целом, по результатам анализа изменения поля σ_x во время t простоя лавы подтверждается только один вывод, сформулированный для компоненты σ_y , – имеет место как минимум качественное соответствие вычислительных и шахтных экспериментов, а также современным представлениям о геомеханике сдвигания углевмещающего массива. Другой вывод, в отличие от поля σ_y , указывает на неоднозначность закономерностей $\sigma_x(t)$ на различных участках модели: в одних областях растягивающие σ_x увеличиваются, в других – снижаются и переходят в сжимающие σ_x , а последние имеют слабо выраженную тенденцию роста. Поэтому говорить о таком реологическом явлении как релаксация напряжений не приходится и тому есть основная причина – непрекращающиеся во времени изгибные деформации породных слоев, которые наиболее тесно связаны с компонентой σ_x .

6.2.3. АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ σ_z КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Далее в качестве анализируемой компоненты рассмотрены горизонтальные напряжения σ_z , действующие вдоль очистного забоя, и во времени t представлены тремя эпюрами: $t \approx 0$ часов (рис. 6.7), $t = 12$ часов (рис. 6.8), $t = 24$ часа (рис. 6.9). Напомним, что эпюры σ_z характеризуют в значительной степени процесс изгиба слоев вдоль лавы и поэтому необходимы для анализа сдвига массива в поперечном сечении выемочной выработки и близ нее на конечном участке лавы, с одной стороны, и, с другой – в зоне бокового опорного давления в нетронутом массиве смежного выемочного участка.

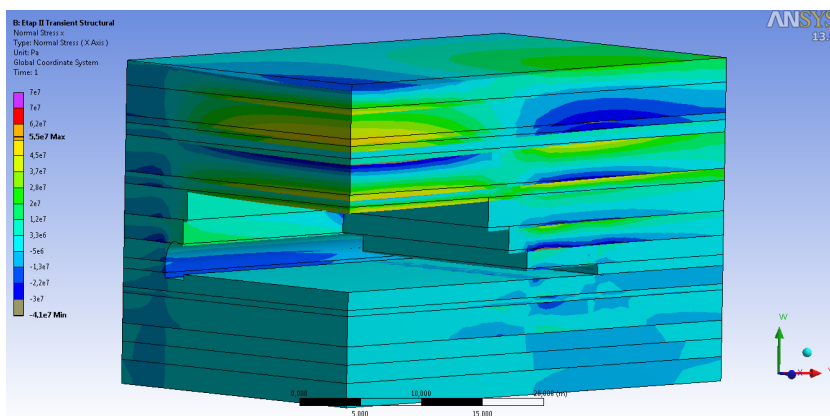


Рис. 6.7. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в макромодели в момент остановки лавы ($t \approx 0$ часов)

Прежде всего, следует сделать общий вывод о качественном соответствии эпюр σ_z и σ_x , если одну из них развернуть по горизонтали на 90° и это вполне объяснимо, если рассматривать деформирование не породных блоков в надугольной толще, а породных плит с нежестким защемлением впереди лавы и в боках выемочной выработки.

В зоне опорного давления впереди лавы в момент ее остановки (см. рис. 6.7) наблюдается достаточно интенсивный изгиб породных слоев кровли вдоль оси Z , на что указывают знакопеременные напряжения σ_z в верхних и нижних частях каждого слоя. В почве пласта изгиб породных слоев менее интенсивен – растягивающие σ_z большей частью отсутствуют, а концентрация сжимающих σ_z находится в интервале $(1,2...3,0)\lambda\gamma H$.

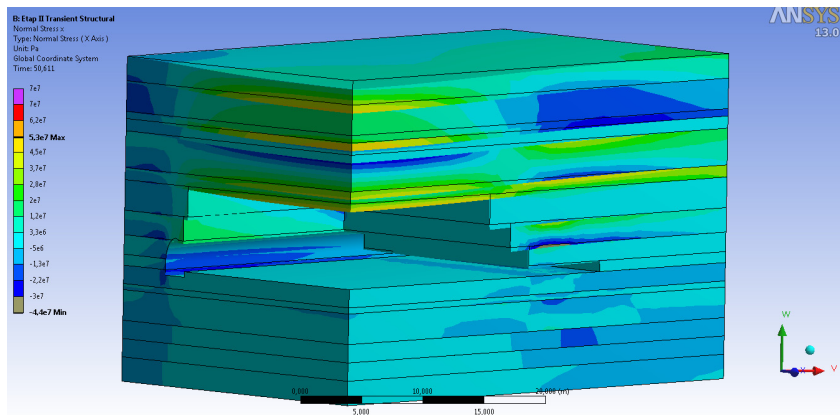


Рис. 6.8. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в макромоделе при простое лавы ($t = 12$ часов)

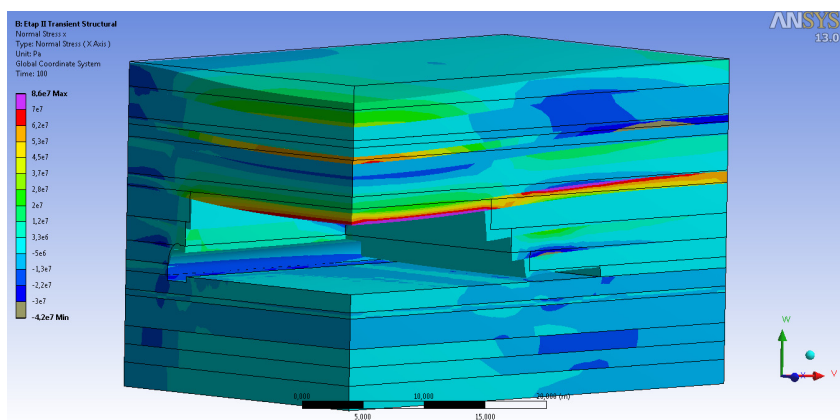


Рис. 6.9. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в макромоделе при простое лавы ($t = 24$ часа)

В области выработанного пространства в надугольной толще слои опускаются на обрушенные породы с возникновением достаточно интенсивных знакопеременных напряжений σ_z в пределах мощности каждого слоя: растягивающие напряжения достигают до 50 МПа, а концентрация сжимающих $\sigma_z = (3,0...5,1)\lambda H$. Указанный уровень растягивающих σ_z однозначно провоцирует появление и раскрытие трещин, что способствует разделению породного слоя на блоки; причем эти блоки следует представлять не в виде традиционных породных балок, а в виде плит, контактирующих друг с другом

посредством сил бокового распора в плоскости ZX . Породы почвы в выработанном пространстве характеризуются стабильностью поля σ_z на уровне $(0,8...1,2)\lambda\mathcal{H}$. В кровле и почве выемочной выработки существенных аномалий σ_z не наблюдается, но в кровле появляются растягивающие напряжения $\sigma_z = 3 - 12$ МПа, которые ее разупрочняют и формируют повышенную нагрузку на крепежную и охранную системы. Примечателен факт роста растягивающих σ_z на контуре выработки до 20 МПа по мере отхода от очистного забоя, что соответствует росту нагрузки в кровле с увеличением расстояния до очистного забоя.

В боковой опорной зоне происходит изгиб слоев в сторону пласта, но растягивающие σ_z невелики в верхней части каждого слоя, а концентрация сжимающих σ_z (в нижней части слоя) составляет $(1,2...5,1)\lambda\mathcal{H}$.

Влияние времени t простоя лавы на изменение компоненты σ_z имеет следующие тенденции:

- в зоне опорного давления впереди лавы в более крепких и жестких слоях песчаника и угольных пластов кровли растягивающие σ_z усиливаются до значений 45 – 70 МПа, что способствует их интенсивному трещинообразованию еще до подхода лавы;

- в слабых легкодеформируемых слоях основной кровли происходит некоторое снижение как растягивающих, так и сжимающих σ_z , то есть, в определенной мере наблюдается релаксация напряжений;

- в породах почвы поле σ_z относительно однородно, но присутствует тенденция увеличения сжимающих σ_z , что обусловлено развитием перемещений пород кровли во времени простоя лавы;

- в породах кровли над выработанным пространством наблюдаются закономерности, аналогичные зоне опорного давления: в крепких жестких слоях растягивающие σ_z усиливаются вплоть до 70 – 85 МПа; в слабых легкодеформируемых слоях растягивающие и сжимающие σ_z несколько уменьшаются по абсолютной величине;

- в почве выработанного пространства наблюдается относительно однородное поле σ_z с небольшим увеличением по абсолютной величине в области сжатия и снижением в области растяжения;

- в кровле и почве выемочной выработки существенных изменений функции $\sigma_z(t)$ не наблюдается.

В итоге анализа компоненты σ_z приходим к выводам, аналогичным для компоненты σ_x , что предопределено природой образования и деформирования породных плит в основной кровле угольного пласта.

6.2.4. АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Последней анализируемой компонентой напряжений является интенсивность или так называемые приведенные напряжения σ по теории прочности Мизеса, которые рассчитываются как определенная комбинация всех компонент, сопоставляемая с пределом прочности породы на сжатие и служащая критерием оценки целостности породы в области действия сжимающих нагрузок. Эпюры приведенных напряжений показаны: для $t \approx 0$ часов (рис. 6.10), для $t = 12$ часов (рис. 6.11), для $t = 24$ часа (рис. 6.12).

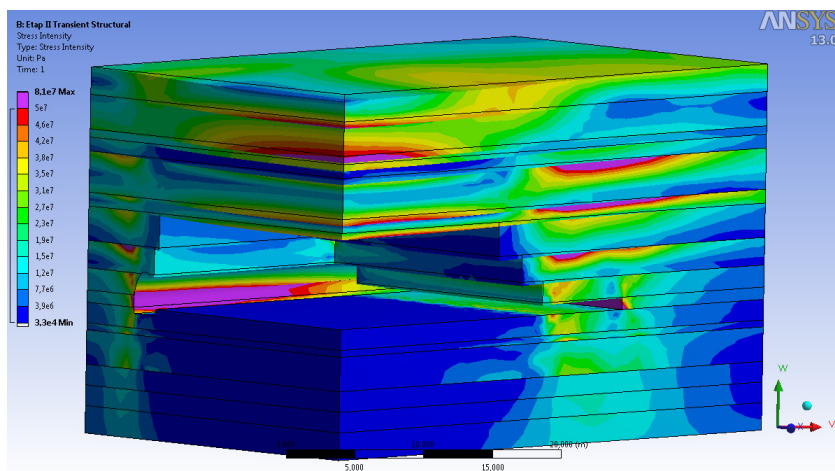


Рис. 6.10. Эпюра приведенных напряжений σ в макро модели в момент остановки лавы ($t \approx 0$ часов)

В зоне опорного давления впереди лавы распределение приведенных напряжений σ характеризуется весьма существенной неравномерностью:

- максимумы располагаются в верхних частях более жестких породных слоев и достигают разрушающих значений $\sigma = 45 - 80$ МПа, распространяющихся в глубь массива до 6 – 8 м;
- в менее жестких слоях $\sigma = 27 - 38$ МПа и также может вызывать разрушение более слабых аргиллитов, особенно если они находятся в обводненном состоянии;
- породы почвы в зоне опорного давления менее нагружены – $\sigma = 8 - 23$ МПа, здесь нет значительных возмущений эпюры σ , но опять-таки в условиях обводненных пород возможно их размокание и вдавливание оснований секций механизированной крепи в породы непосредственной почвы;

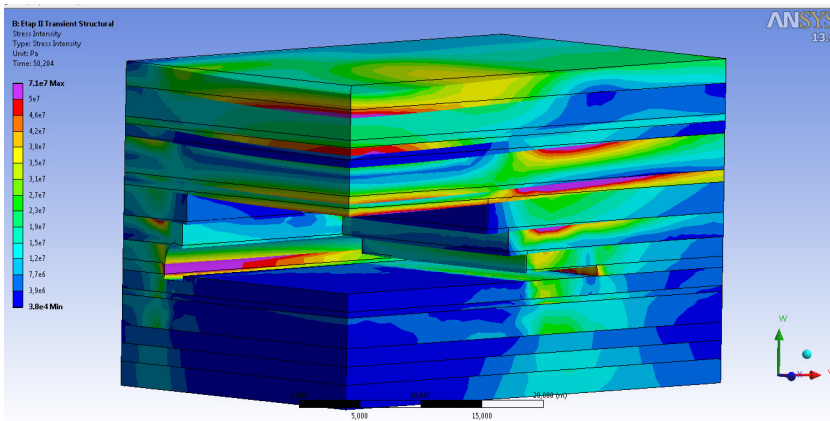


Рис. 6.11. Эпюра приведенных напряжений σ в макромоделе при простое лавы ($t = 12$ часов)

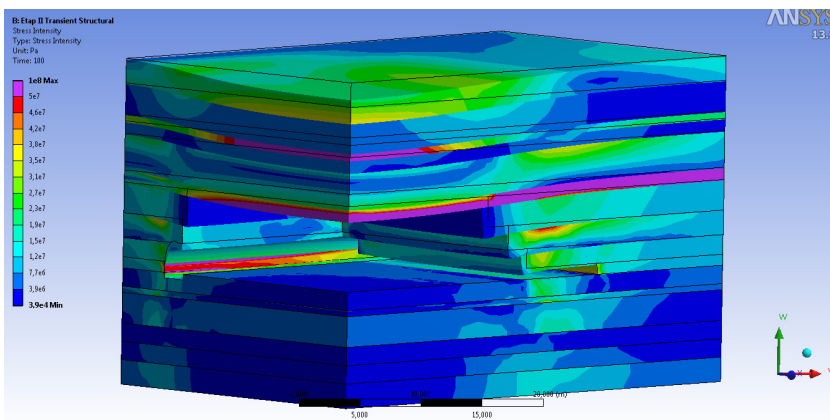


Рис. 6.12. Эпюра приведенных напряжений σ в макромоделе при простое лавы ($t = 24$ часа)

– в плоскости груди забоя на глубину до 0,3 – 0,4 м располагается высокая концентрация $\sigma = 50 - 80$ МПа, которая провоцирует такое явление как отжим угля.

В области выработанного пространства, кровли и почвы выемочной выработки наблюдаются следующие особенности поля приведенных напряжений:

– имеет место изменение знака кривизны изгиба слоев кровли сразу же за ограждением секций механизированной крепи, распространяющейся по координате Y под углом $70 - 80^\circ$; это еще раз подтверждает закономерность образования в кровле породных консолей ограниченной длины и ос-

лабляет такое геомеханическое явление как посадка основной кровли с уменьшением экстремальных нагрузок на механизированную крепь;

- за очистным забоем в более жестких слоях основной кровли происходит их разупрочнение ($\sigma = 45 - 80$ МПа) и обрушение в выработанное пространство нижних слоев, а в вертикальных слоях – образование шарнирно-блоковой распорной системы;

- в менее жестких (легкодеформируемых) слоях при их достаточной мощности (более 5 – 7 м) действуют пониженные напряжения σ и в них возможно образование более протяженных породных консолей с увеличением нагрузки на секции механизированной крепи;

- породы почвы существенно нагружены ($\sigma = 15 - 27$ МПа) только в районе очистного забоя, а в выработанном пространстве поле σ однородное и характеризуется разгруженным состоянием;

- в кровле и почве выемочной выработки располагается область разгрузки $\sigma = 4 - 19$ МПа и не прогнозируется их разрушение от действия сжимающих нагрузок.

В зоне бокового опорного давления наблюдаются только локальные концентрации разрушающих $\sigma = 35 - 80$ МПа протяженностью до 1,3 – 1,6 м, а их расположение указывает на изгиб слоев в полость выемочной выработки. Тем не менее, вблизи бокового контура выработки действуют высокие напряжения $\sigma = 50 - 80$ МПа, которые увеличиваются с расстоянием от груди забоя. Такая концентрация σ непременно вызывает разрушение приконтурных боковых пород, что следует учесть в мероприятиях по обеспечению устойчивости выемочной выработки.

Оценка влияния времени t простоя лавы на изменение поля приведенных напряжений σ дала следующие результаты.

В зоне опорного давления впереди лавы наблюдается ярко выраженная релаксация напряжений σ за исключением более крепкого песчаника в основной кровле. Этот факт объясняется распространенным явлением в процессах сдвижения надугольной толщи, когда более жесткая литологическая разность воспринимает на себя повышенную нагрузку от вышележащих легкодеформируемых породных слоев, а нижележащие слои благодаря своей податливости «уходят» от нагрузки и еще больше провоцируют рост σ в песчанике.

Тот же процесс релаксации σ происходит в опускающихся в выработанное пространство слоях основной кровли, опять-таки за исключением более жесткого песчаника и вышележащего угольного пласта. Поле σ в почве выработанного пространства практически не меняется. То же можно сказать и о породах кровли и почвы выемочной выработки.

В зоне бокового опорного давления благодаря релаксации σ практически исчезают даже локальные зоны их концентрации. Также обращает внимание существенное снижение концентраций σ в приконтурных боковых породах.

В целом, главной закономерностью изменения приведенных напряжений σ во времени t простоя лавы является их довольно активная релаксация.

6.2.5. АНАЛИЗ ЭПЮР ПОЛНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ УГЛЕВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА

Итоговой частью анализа НДС макромодели является исследование эпюр полных перемещений U для трех значений времени t простоя лавы: $t \approx 0$ часов – рис. 6.13, $t = 12$ часов – рис. 6.14, для $t = 24$ часа – рис. 6.15.

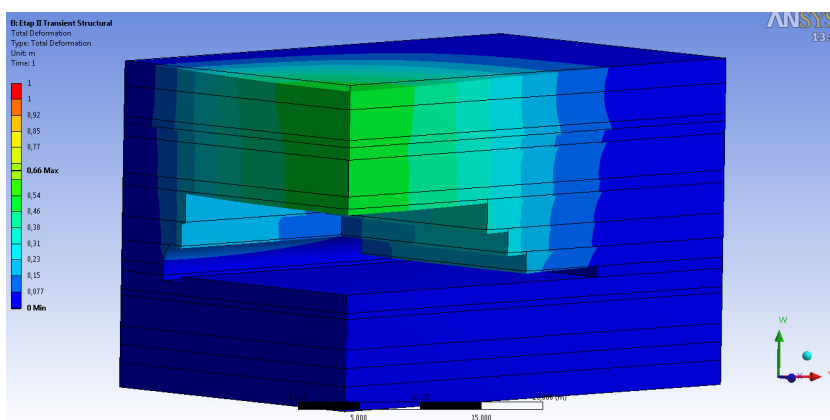


Рис. 6.13. Эпюра полных перемещений U в макромодели в момент остановки лавы ($t \approx 0$ часов)

В момент остановки лавы (см. рис. 6.13) эпюра полных перемещений характеризуется следующими особенностями.

В зоне опорного давления впереди лавы поле U весьма однородно, а величина перемещений углеватмещающей толщи составляет всего 70 – 150 мм. Те же значения U характерны и для поднятия почвы в выработанном пространстве. Наибольшие перемещения зафиксированы в кровле над выработанным пространством: здесь по плоскостям YX и YZ происходит постепенный рост U (начиная от груди очистного забоя по координате X и от выемочной выработки по координате Z) от значений $U = 100 - 150$ мм до 460 – 660 мм на расстоянии до 28 м от груди забоя и до 19 м от выемочной выработки. Эти координаты, с учетом вынимаемой мощности пласта и разрыхления обрушенных пород непосредственной кровли, характеризуют смыкание опускающихся пород основной кровли и зоны беспорядочного обрушения. Здесь следует обратить внимание на не только качественное, но и количественное соответствие величины опускания пород надугольной толщи в выработанном пространстве с существующими теориями горного давления, например, [75].

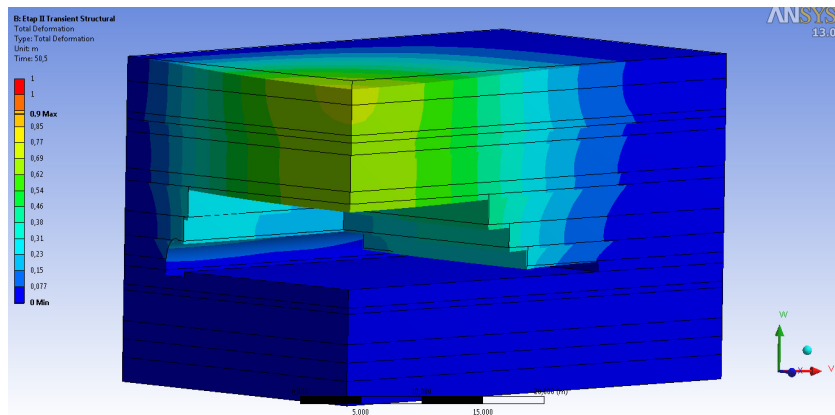


Рис. 6.14. Эпюра полных перемещений U в макро модели при простое лавы ($t = 12$ часов)

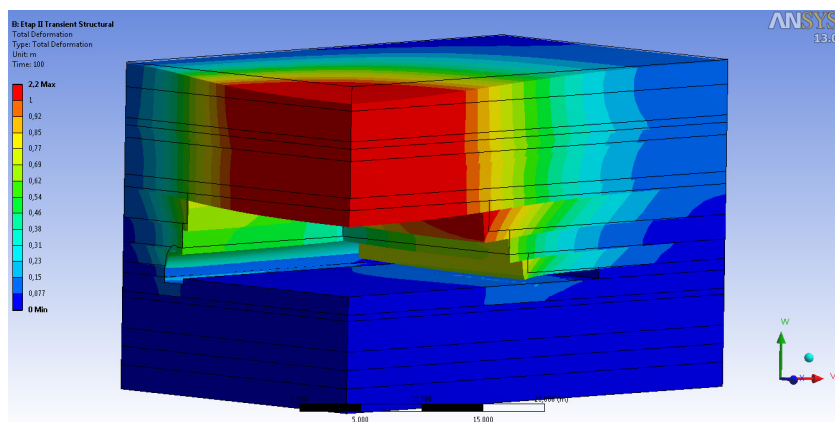


Рис. 6.15. Эпюра полных перемещений U в макро модели при простое лавы ($t = 24$ часа)

В кровле выемочной выработки перемещение U по периметру свода увеличивается от 80 – 120 мм в пяте до 150 – 220 мм в замке свода. В почве и боках выработки полные перемещения невелики – до 70 – 80 мм. Только на контуре свода выработки перемещения достигают 230 – 310 мм.

Остановка лавы до 24 часов весьма существенно влияет на развитие полных перемещений в большинстве областей исследуемого объекта (см. рис. 6.14 и рис. 6.15).

В зоне опорного давления впереди очистного забоя опускания породных слоев кровли увеличивается умеренно – до 150 – 230 мм, так как этому процессу препятствует нижележащий массив, где перемещение пород почвы

возрастает до 150 мм. Такая же величина поднятия почвы наблюдается и в выработанном пространстве. Гораздо более интенсивно происходит рост опускания породных слоев кровли: над лавой: перемещения U возрастают от 230 – 310 мм у груди забоя до 540 – 690 мм в районе ограждения секций механизированной крепи; по мере удаления от груди забоя (по координате X) и от выемочной выработки (по координате Z) опускания кровли увеличиваются до 1 м и более.

Таким образом, в период остановки лавы весьма активно протекает реологическое явление, называемое ползучестью деформаций. Она негативно отражается на состоянии секций механизированной крепи – ведь уже в районе груди забоя опускания непосредственной кровли увеличиваются до 230 – 310 мм (при простое лавы $t = 24$ часа) и возникает опасность посадки механизированного комплекса на «жесткую базу». Поэтому при аварийной остановке лавы более 12 часов необходимо пробивать деревянные стойки под консоль перекрытия секции и проводить другие мероприятия.

Ползучесть деформации массива происходит в окрестности выемочной выработки, особенно в ее кровле. Здесь при $t = 24$ часа перемещения увеличиваются до 620 – 800 мм, что уже представляет опасность для устойчивости выработки и возникают проблемы с ее эксплуатацией. В боках выработки рост перемещений менее интенсивен, тем не менее, их величина достигает 540 – 620 мм.

Из проведенного анализа эпюр полных перемещений следует однозначный вывод о существенной опасности для устойчивости выемочной выработки и лавы развитие процесса ползучести деформаций углевмещающей толщи при остановке очистного забоя продолжительностью более 12 часов.

По итогам исследований НДС макромодели можно сделать ряд выводов относительно геомеханических процессов сдвижения углевмещающего массива в окрестности выемочной выработки и концевой участка лавы и закономерностей влияния времени ее простоя на изменение компонент напряжений и перемещений:

– вертикальные напряжения σ_y в аномальных зонах имеют тесную связь со временем t простоя лавы, выраженную в релаксации концентраций сжимающих σ_y и уменьшении по абсолютной величине растягивающих σ_y , что в совокупности снижает уровень напряженности массива по факту действия компоненты σ_y ;

– горизонтальные напряжения σ_x и σ_z проявляют неоднозначные тенденции связи со временем t : в некоторых областях макромодели наблюдается слабовыраженная релаксация напряжений; в других областях происходит рост функций $\sigma_x(t)$ и $\sigma_z(t)$; в третьих областях компоненты σ_x и σ_z не имеют существенной связи со временем t простоя лавы;

– приведенные напряжения σ достаточно существенно изменяются во времени t , но с противоположными тенденциями для разных типов пород:

для более крепких и жестких песчаников наблюдается возрастание σ во времени t ; для более слабых и легкодеформируемых аргиллитов и алевролитов активно развивается релаксация напряжений;

– имеет место интенсивное разупрочнение пород кровли впереди лавы на расстояние до 6 – 8 м, что ограничивает пролет породных консолей позади механизированной крепи и частично снижает негативный эффект посадки основной кровли;

– наиболее ярко проявляется реологический процесс ползучести деформаций; он негативно влияет на состояние концевых секций механизированной крепи – ведь уже в районе груди забоя опускание непосредственной кровли достигает 230 – 310 мм (при остановке лавы на 24 часа), в районе ограждения секций $U = 540 – 690$ мм, а на удалении от них в выработанное пространство опускания кровли возрастают до 1 м и более; эти процессы представляют опасность в плане посадки секций на «жесткую базу»;

– также активно проявляется ползучесть деформаций в окрестности выемочной выработки, особенно в ее кровле (опускание до 620 – 800 мм) и боках (до 540 – 620 мм), что сопряжено с длительным простоем лавы ($t = 24$ часа) и требует разработки мероприятий для повышения устойчивости выработки.

ВЫВОДЫ

1. В соответствии с результатами шахтных исследований и разработанным механизмом сдвижения надугольной толщи в окрестности выемочной выработки обоснована методика проведения вычислительного эксперимента, включающая обязательное отражение в модели следующих основных позиций и параметров реального объекта исследований: учет реологических явлений, полная диаграмма деформирования каждой литологической разности и ее реальные механические характеристики, детальное моделирование конструктивно-технологических параметров крепежных и охранных систем и механических характеристик их элементов.

2. Результаты моделирования объекта исследований (массива в окрестности выемочной выработки, концевого участка лавы, выработанного пространства, участка впереди очистного забоя, крепежной системы участка выработки вне зоны влияния очистных работ) полностью соответствует в качественном плане данным экспериментальных наблюдений и разработанному механизму сдвижения надугольной толщи, а ряд закономерностей изменения поля напряжений и перемещений во времени ведения горных работ имеют достаточную удовлетворительную сходимостъ и в количественном плане.

3. По итогам исследований НДС макромодели можно сделать ряд выводов относительно геомеханических процессов сдвижения углевмещающего массива в окрестности выемочной выработки и концевого участка лавы и закономерностей влияния времени ее простоя на изменение компонент на-

пряжений и перемещений:

- вертикальные напряжения σ_y в аномальных зонах имеют тесную связь со временем t простоя лавы, выраженную в релаксации концентраций сжимающих σ_y и уменьшении по абсолютной величине растягивающих σ_y , что в совокупности снижает уровень напряженности массива по факту действия компоненты σ_y ;

- горизонтальные напряжения σ_x и σ_z проявляют неоднозначные тенденции связи со временем t : в некоторых областях макромодели наблюдается слабовыраженная релаксация напряжений; в других областях происходит рост функций $\sigma_x(t)$ и $\sigma_z(t)$; в третьих областях компоненты σ_x и σ_z не имеют существенной связи со временем t простоя лавы;

- приведенные напряжения σ достаточно существенно изменяются во времени t , но с противоположными тенденциями для разных типов пород: для более крепких и жестких песчаников наблюдается возрастание σ во времени t ; для более слабых и легкодеформируемых аргиллитов и алевролитов активно развивается релаксация напряжений;

- имеет место интенсивное разупрочнение пород кровли впереди лавы на расстояние до 6 – 8 м, что ограничивает пролет породных консолей позади механизированной крепи и частично снижает негативный эффект посадки основной кровли;

- наиболее ярко проявляется реологический процесс ползучести деформаций; он негативно влияет на состояние концевых секций механизированной крепи – ведь уже в районе груди забоя опускание непосредственной кровли достигает 230 – 310 мм (при остановке лавы на 24 часа), в районе ограждения секций $U = 540 – 690$ мм, а на удалении от них в выработанное пространство опускания кровли возрастают до 1 м и более; эти процессы представляют опасность в плане посадки секций на «жесткую базу»;

- также активно проявляется ползучесть деформаций в окрестности выемочной выработки, особенно в ее кровле (опускание до 620 – 800 мм) и боках (до 540 – 620 мм), что сопряжено с длительным простоем лавы ($t = 24$ часа) и требует разработки мероприятий для повышения устойчивости выработки.

7. ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА И КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ ВНЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

В соответствии с описанной ранее методикой проведения исследований состояния повторно используемой выемочной выработки разработана подчиненная геомеханическая модель для первого участка выработки, находящегося вне зоны влияния очистных работ. Здесь предусмотрено детальное отражение особенностей крепежной системы, включающей рамную крепь КШПУ-11,7 и опорно-анкерное крепление из пяти сталеполлимерных анкеров, установленных в кровле выработки посередине между рамами.

Главная задача данных исследований – оценить состояние крепежной системы на первом этапе ее работы (вне зоны влияния очистных работ) и проследить, как изменяется ее НДС в процессе эксплуатации выработки. Предварительно отметим, что выемочная выработка, тем более, повторно используемая поддерживается несколько лет. Поэтому реологическая модель должна разрабатываться и рассчитываться под указанный период времени, при обосновании которого следует учитывать выполаживание графика ползучести горных пород, то есть разную скорость ползучести на разных отрезках времени. По данным [13] литологические разности углевмещающей толщии шахт Западного Донбасса характеризуются затухающим графиком ползучести деформаций, когда их подавляющая часть реализуется в первые несколько месяцев испытаний. Это позволяет с некоторым запасом (на возможную вариацию свойств пород) считать достаточным для реологических исследований период расчета НДС $t = 1$ год, что и было реализовано в разработанной геомеханической модели. Для того, чтобы проиллюстрировать развитие НДС модели во времени задано три фиксированных значения времени t эксплуатации выработки и приведены соответствующие эпюры компонент: первое значение $t = 5 - 8$ сут., когда ползучесть деформаций находится в начальной стадии развития; второе значение $t = 170 - 180$ сут. характеризует середину исследуемого временного промежутка; третье значение $t = 360 - 370$ сут. отражает стабилизацию НДС и окончание существенного влияния реологических явлений на поля распределения компонент напряжений. Здесь анализируются именно компоненты напряжений (σ_y , σ_z и σ) в ракурсе главной задачи оценки состояния крепежной системы и устойчивости выемочной выработки в целом. Для этого в методическом плане анализ НДС разбит на две составляющие: окружающий выработку приконтурный горный массив и крепежная система, в каждой из которых использована своя шкала напряжений для повышения точности исследований.

7.1. ГОРНЫЙ МАССИВ В ОКРЕСТНОСТИ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ

7.1.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Эпюры вертикальных напряжений σ_y приведены на рис. 7.1 ($t = 5 - 8$ сут.), рис. 7.2 ($t = 170 - 180$ сут.) и рис. 7.3 ($t = 360 - 370$ сут.). В начале срока поддержания выработки (см. рис. 7.1) деформации ползучести горного массива только начинают проявляться, поэтому эпюра σ_y весьма похожа на таковую при расчете НДС в рамках теории упругости:

– в почве и кровле образуются области разгрузки в форме свода, внутри которых отдельно следует выделить область растягивающих $\sigma_y \leq 1,7$ МПа; здесь породы со временем могут потерять устойчивость и в кровле формируют подобие свода естественного равновесия высотой до 1,6 м, а в почве выработки разупрочненные породы глубиной до 2,6 м провоцируют развитие пучения;

– в боках выработки формируется зона опорного давления с небольшой концентрацией $\sigma_y = (1,3...1,7)H$, распространяющаяся по простиранию пласта до 1 м.

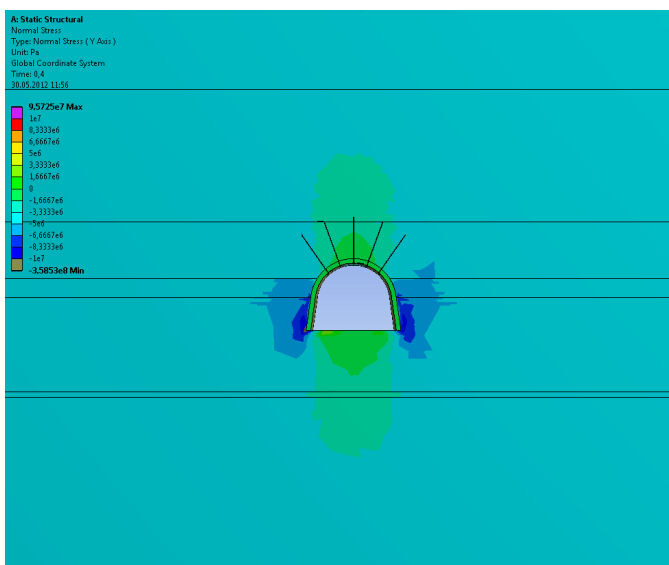


Рис. 7.1. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в начале срока поддержания выемочной выработки ($t = 5 - 8$ сут.)

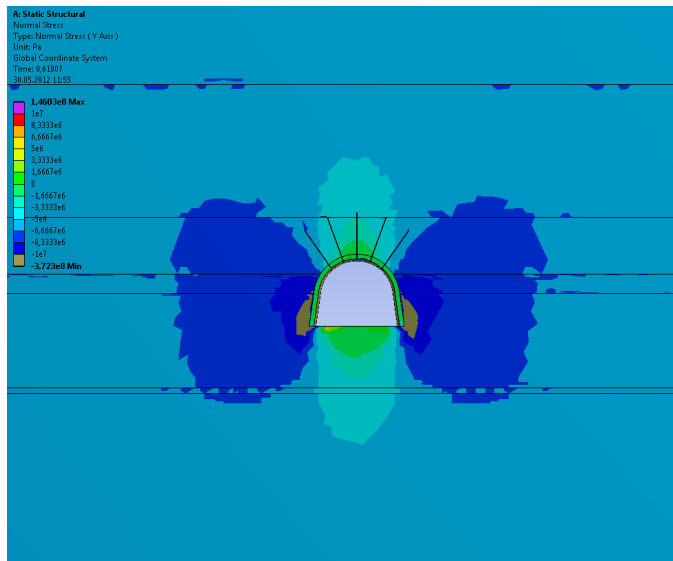


Рис. 7.2. Эпюра вертикальных напряжений σ_y при сроке поддержания выемочной выработки ($t = 170 - 180$ сут.)

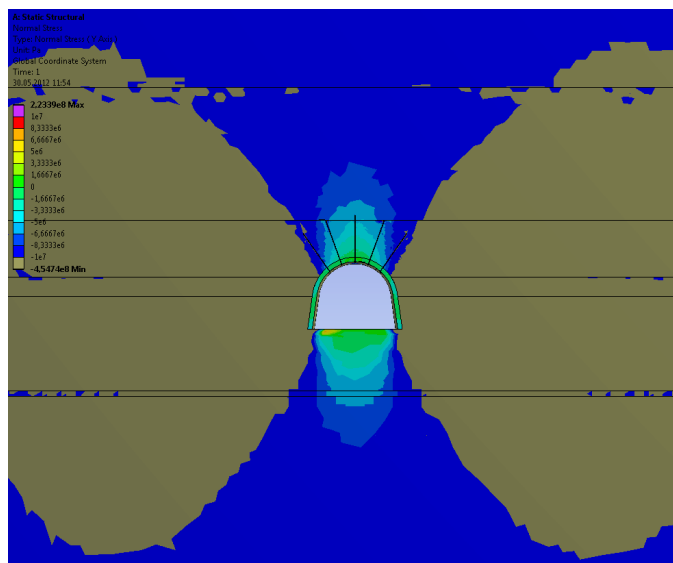


Рис. 7.3. Эпюра вертикальных напряжений σ_y при сроке поддержания выемочной выработки ($t = 360 - 370$ сут.)

С течением времени t поддержания выработки и развитием реологических процессов эпюра σ_y преобразуется следующим образом (см. рис. 7.2 и 7.3):

– растягивающие σ_y в кровле уменьшаются по абсолютной величине, а сам свод предельного равновесия сокращается (при $t = 360 - 370$ сут. высота свода не превышает 0,2 м);

– аналогичные процессы протекают и в почве выработки, где глубина распространения растягивающих σ_y ($t = 360 - 370$ сут.) сокращается до 1,2 м;

– в боках выработки одновременно увеличивается концентрация сжимающих $\sigma_y = (1,5...6,5)\mathcal{H}$ и область их распространения: по координате Z (простираение пласта) – до 20 м, по координате Y – до 26 м.

Сокращение расслоения в кровле и почве во времени t является позитивной стороной реологических явлений, но образование обширной области концентрации сжимающих σ_y в боках выработки (причем, часть области подвержена действию разрушающих σ_y) формирует значительное боковое давление, к восприятию которого крепь КШПУ (как и другие типы незамкнутых рамных крепей) не приспособлена конструктивно. Данное предположение относительно возможности потери устойчивости боков выработки и стоек рамной крепи детально проанализировано далее.

7.1.2. АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Развитие во времени t поля горизонтальных напряжений σ_z (в плоскости YZ) проиллюстрировано тремя эпюрами: $t = 5 - 8$ сут. (рис. 7.4), $t = 170 - 180$ сут. (рис. 7.5), $t = 360 - 370$ сут. (рис. 7.6).

В начале срока поддержания выемочной выработки вмещающие породы еще не испытывают существенных деформаций ползучести. Поэтому, наблюдается практически однородное поле горизонтальных напряжений σ_z за исключением локальных приконтурных участков (см. рис. 7.4) в основном в боках и почве выработки:

– в боках образуется область небольших растягивающих $\sigma_z = 1,0 - 2,3$ МПа, обусловленных изгибом верхней части породного слоя непосредственной почвы от нагрузки со стороны более крепкого угольного пласта, а также значительной высотой подрывки (1,5 – 1,8 м) пород почвы; размеры области составляют до 1,5 м по координате Z и до 1,1 м по координате Y ;

– под опорами стоек рамной крепи образуются весьма ограниченные зоны с небольшой концентрацией сжимающих $\sigma_z = (1,1...1,4)\lambda\mathcal{H}$; эти напряжения далеки от разрушающих и не представляют опасности для рассматриваемых породных объемов;

– в почве выработки действуют растягивающие $\sigma_z = 1,0 - 3,0$ МПа с глубиной проникновения до 0,6 м.

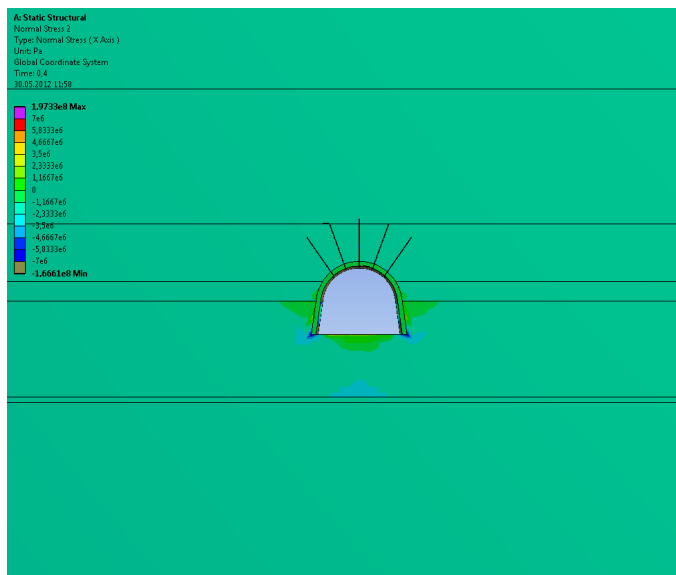


Рис. 7.4. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в начале срока поддержания выработки ($t = 5 - 8$ сут.)

В процессе поддержания выемочной выработки поле горизонтальных напряжений σ_z изменяется следующим образом (см. рис. 7.5 и рис. 7.6):

– в непосредственной и первом слое основной кровли образуется небольшая концентрация сжимающих $\sigma_z = (1,1...1,4)\lambda\gamma H$, а растягивающие σ_z вообще отсутствуют;

– в почве выработки наблюдается та же картина за исключением приконтурных пород, где на глубину до 1,2 м образуется зона разгрузки с появлением растягивающих σ_z до 3,5 МПа (на глубину до 0,5 м), которые могут вызывать небольшое пучение;

– в боках выработки в непосредственной почве и угольном пласте образуются невысокие концентрации сжимающих $\sigma_z = (1,3...1,6)\lambda\gamma H$ ограниченного распространения и только под стойками рамы появляются локальные области повышенных $\sigma_z = (2,0...6,0)\lambda\gamma H$, где возможен процесс разупрочнения породы;

– в приконтурной части боков образуется зона разгрузки от изгиба породных слоев и угольного пласта с появлением растягивающих σ_z до 4,5 МПа в верхней части непосредственной почвы, но эта область весьма ограничена; с другой стороны, сочетание растягивающих σ_z с концентрацией сжимающих σ_y является опасной с точки зрения любой теории прочности горной породы.

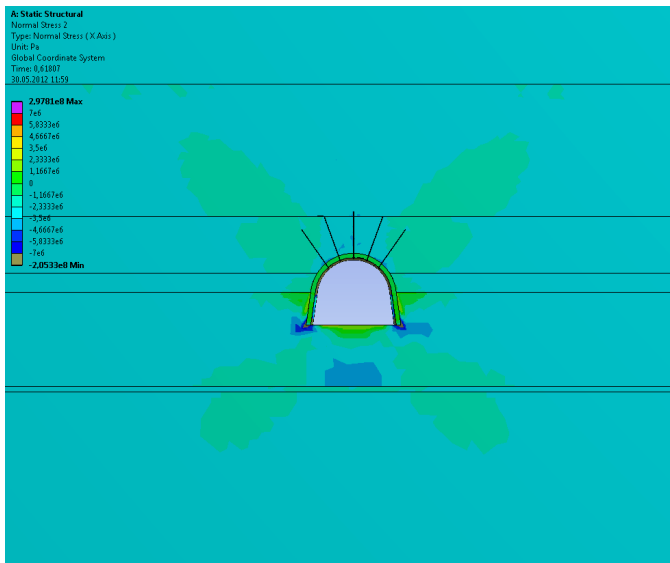


Рис. 7.5. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z при сроке поддержания выработки ($t = 170 - 180$ сут.)

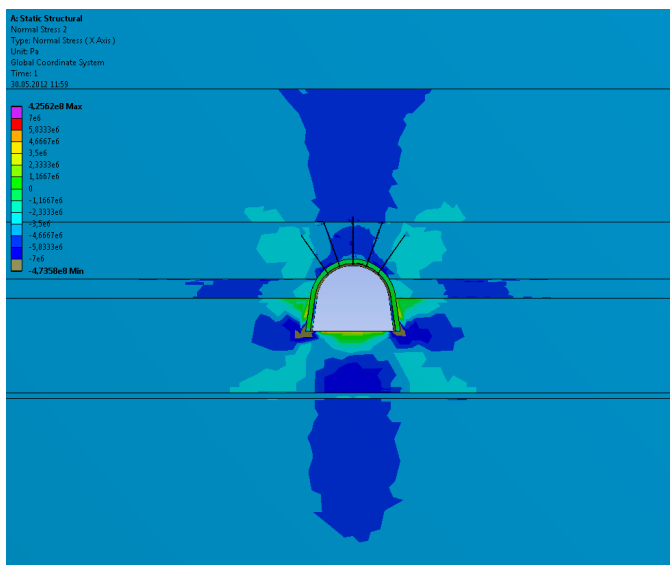


Рис. 7.6. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z при сроке поддержания выработки ($t = 360 - 370$ сут.)

В целом, наблюдается развитие (хотя и с низкой интенсивностью) небольших аномалий поля σ_z с течением времени поддержания (эксплуатации) выработки.

7.1.3. АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Итоговой компонентой, завершающей целостное представление о состоянии массива в окрестности выемочной выработки, являются приведенные напряжения σ для разного периода поддержания выработки: $t = 5 - 8$ сут. (рис. 7.7), $t = 170 - 180$ сут. (рис. 7.8), $t = 360 - 370$ сут. (рис. 7.9).

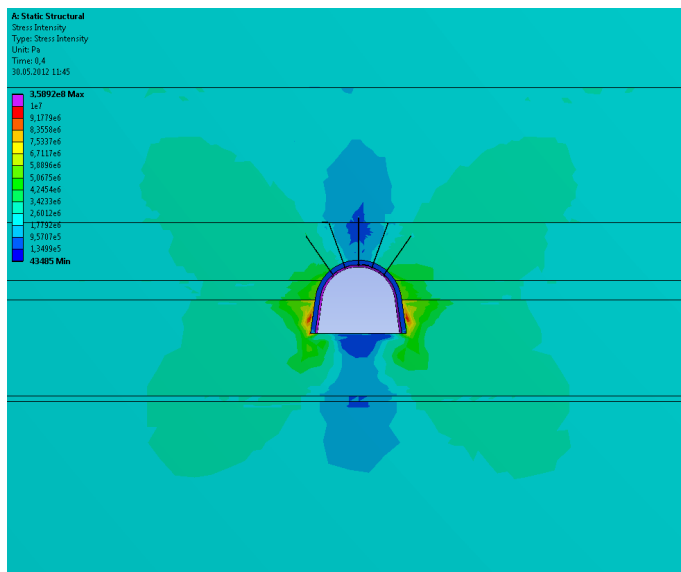


Рис. 7.7. Эпюра приведенных напряжений σ в начале срока поддержания выработки ($t = 5 - 8$ сут.)

В начальный период поддержания выработки (см. рис. 7.7) наблюдается практически упругое распределение поля приведенных напряжений σ :

- в кровле и почве выработки формируется область разгрузки, где действуют $\sigma = 0,2 - 2,6$ МПа;
- в боках выработки располагаются области концентрации σ , увеличивающиеся по мере приближения к ее контуру; однако даже вблизи контура (на расстоянии до 0,3 м) величина σ не превышает 7,5 – 9 МПа и не способна вызвать разрушение породы от сжимающих нагрузок.

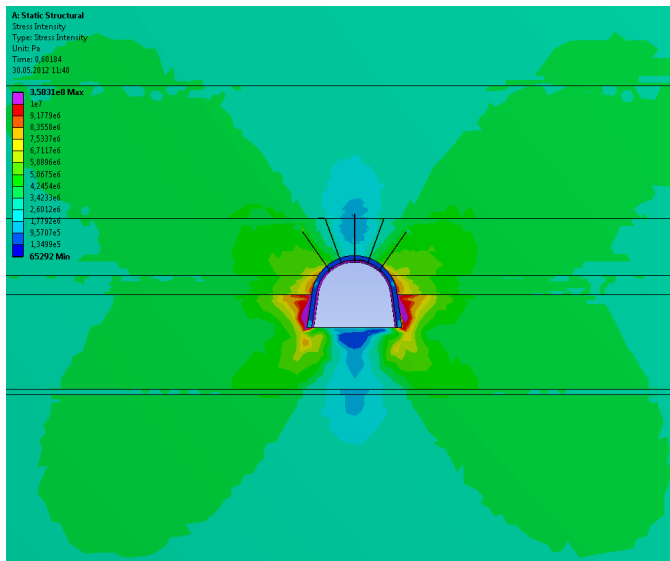


Рис. 7.8. Эпюра приведенных напряжений σ при сроке поддержания выработки ($t = 170 - 180$ сут.)

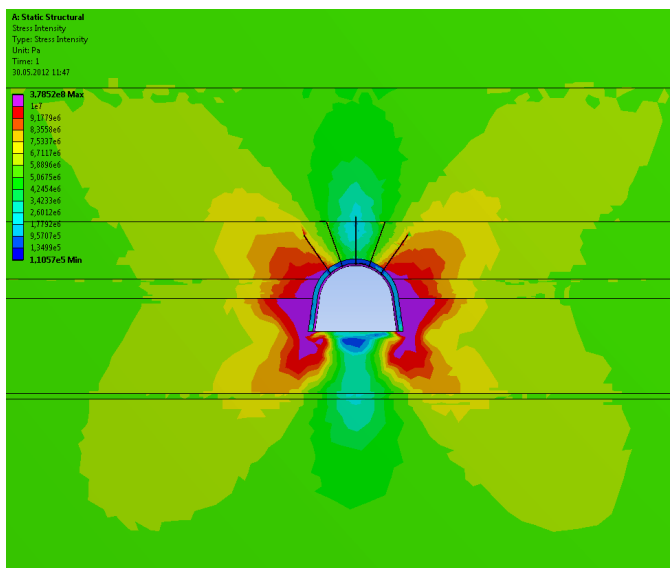


Рис. 7.9. Эпюра приведенных напряжений σ при сроке поддержания выработки ($t = 360 - 370$ сут.)

Иначе обстоит ситуация в процессе увеличения срока t поддержания выработки (см. рис. 7.8 и 7.9):

- области разгрузки в кровле и почве выработки сокращаются, но уровень $\sigma = 1,0 - 3,5$ МПа не представляет опасности для нарушения целостности породы;

- в боках выработки происходит не только рост концентраций σ , но и размеров областей их распространения; однако зоны, где эти концентрации достигают разрушающих породу значений $\sigma = 10 - 60$ МПа относительно невелики и распространены в пределах высоты выработки на расстояние по простиранию до 1,8 м.

По итогам изучения НДС углевмещающей толщи в окрестности выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ можно сделать ряд выводов:

- в процессе поддержания выемочной выработки наблюдаются две противоположные тенденции изменения поля вертикальных напряжений σ_y : снижаются размеры областей растягивающих σ_y в кровле и почве, но более значимо возрастают как размеры области опорного давления в боках, так и величина концентраций сжимающих σ_y , приводящих к разупрочнению некоторых объемов пород и формированию повышенной боковой нагрузки на рамную крепь КШПУ;

- наблюдается небольшое развитие аномалий поля σ_z во времени t поддержания выемочной выработки, однако, сочетание в приконтурных породах ее боков растягивающих σ_z и концентраций сжимающих σ_y представляет опасность для целостности горной породы;

- имеет место развитие областей концентрации приведенных напряжений σ и их величины в боках выработки с увеличением времени t ее поддержания, что способствует появлению разрушающих породу напряжений, хотя и в ограниченной области приконтурных пород шириной до 1,8 м; тем не менее, эти области способны создать повышенную боковую нагрузку на стойки рамной крепи.

7.2. КРЕПЕЖНАЯ СИСТЕМА ВЫРАБОТКИ ВНЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Изучено НДС исключительно крепежной системы выемочной выработки на первом участке ее поддержания, то есть, вне зоны влияния очистных работ. Для этого построены отдельно эпюры компонент σ_y , σ_z и σ только для крепежной системы в другой шкале напряжений, а отметки времени t поддержания выработки остаются прежними.

7.2.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

В первую очередь, оценено поле распределения вертикальных напряжений σ_y в раме и опорно-анкерном креплении, а также закономерности его изменения во времени t поддержания выработки, для чего приведены три эпюры σ_y : $t = 5 - 8$ сут. (рис. 7.10), $t = 170 - 180$ сут. (рис. 7.11), $t = 360 - 370$ сут. (рис. 7.12).

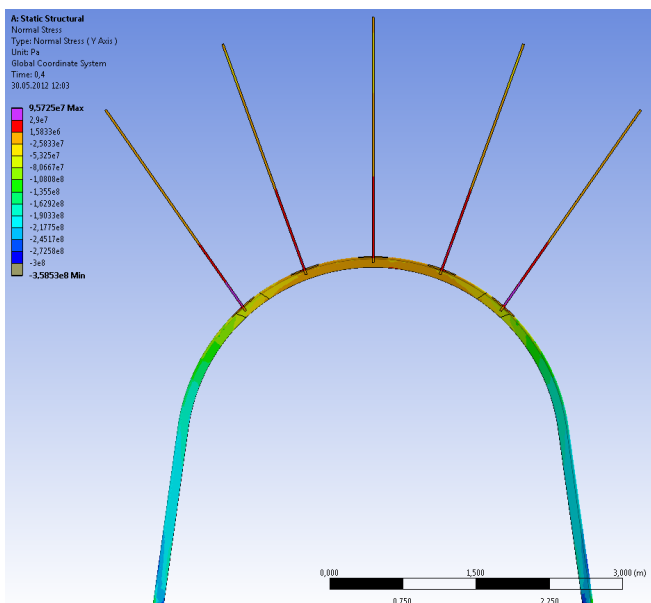


Рис. 7.10. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 5 - 8$ сут.)

Основные позиции поля σ_y в раме в начале срока поддержания выработок (см. рис. 7.10) сводятся к следующему:

- верхняя часть рамной крепи КШПУ находится в разгруженном состоянии под действием в основном сжимающих σ_y до 25 МПа с образованием областей растягивающих σ_y до 1,5 МПа; при этом следует напомнить, что расчетный предел текучести стали Ст.5 (из которой изготавливается шахтный профиль СВП) составляет $\sigma_T = 270$ МПа, то есть, более чем на порядок выше действующих напряжений в верхняке рамы;

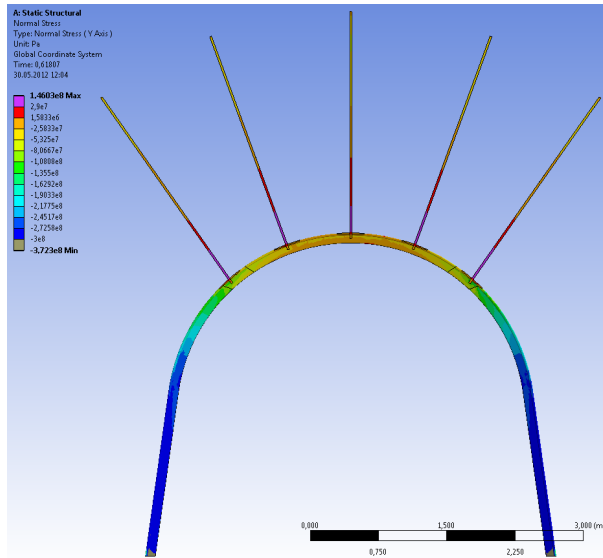


Рис. 7.11. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 170 - 180$ сут.)

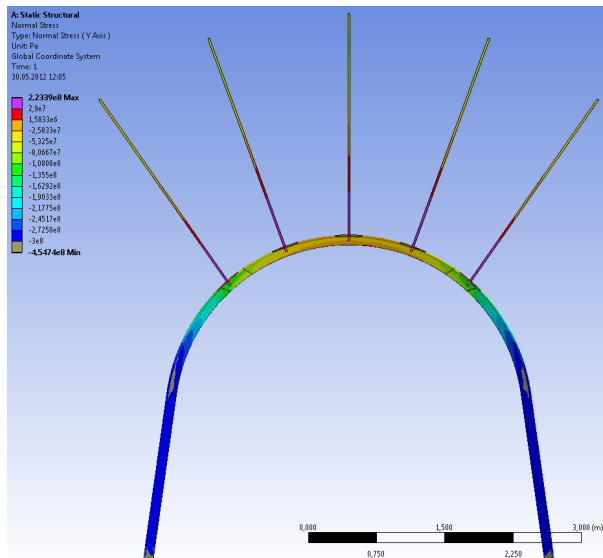


Рис. 7.12. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 360 - 370$ сут.)

– в районе замков податливости происходит увеличение σ_y до 50 – 70 МПа и при переходе в стойки рамы дальнейший рост σ_y продолжается: в криволинейной части стойки – 100 – 190 МПа, а в прямолинейной – 190 – 240 МПа при появлении в опоре стойки контактных напряжений $\sigma_y = 245 – 273$ МПа в весьма ограниченной области 40 × 50 мм;

– в опорно-анкерном креплении в начальный период поддержания выработки существенных напряжений σ_y не наблюдается по причине небольших размеров свода предельного равновесия в кровле: заглубленная часть анкеров подвержена небольшим сжимающим σ_y до 25 – 30 МПа, ближняя к выработке часть анкера испытывает растяжение – $\sigma_y = 10 – 50$ МПа; здесь также следует учесть, что предел текучести сталей, из которых изготавливается арматура сталеполимерных анкеров, составляет $\sigma_T = 230 – 240$ МПа.

По результатам анализа компоненты σ_y можно сделать вывод о недогруженности анкеров и верхняка рамы наряду с загрузкой ее стоек на 70 – 90% от предела текучести стали, который относится к начальному периоду поддержания выемочной выработки.

С течением времени t поддержания наблюдается следующие закономерности изменения вертикальных напряжений σ_y :

– в верхняке рамы и анкерах поле σ_y существенным образом не меняется во времени t ; исключение составляют примыкающие к выработке участки анкеров, где растягивающие σ_y увеличиваются до 50 – 100 МПа, что указывает на развитие деформаций ползучести в приконтурных породах кровли;

– в стойках рамы происходит более интенсивный рост сжимающих σ_y практически по всей их длине: в криволинейной части стоек $\sigma_y = 190 – 270$ МПа, в прямолинейной – $\sigma_y = 270 – 300$ МПа с появлением локальных участков, где $\sigma_y > 300$ МПа.

Таким образом, установлен наиболее нагруженный элемент крепежной системы – стойки рамной крепи, состояние которых представляет опасность для устойчивости выработки по факту действия вертикальных напряжений σ_y . Поэтому следует обратить особое внимание на состояние стоек рамы и провести мероприятия по их усилению еще на участке выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ.

7.2.2. АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Следующей анализируемой компонентой являются горизонтальные напряжения σ_z , эпюры которых для разных периодов поддержания выработки приведены на рис. 7.13 ($t = 5 - 8$ сут.), рис. 7.14 ($t = 170 - 180$ сут.), рис. 7.15 ($t = 360 - 370$ сут.).

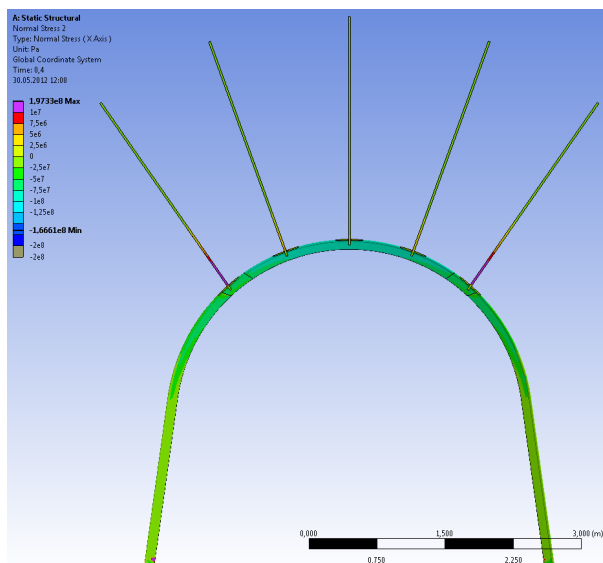


Рис. 7.13. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 5 - 8$ сут.)

В начальный период поддержания выемочной выработки распределение компоненты σ_z характеризуется следующими особенностями (см. рис. 7.13):

- центральная часть верхняка рамы достаточно нагружена напряжениями $\sigma_z = 50 - 100$ МПа, что обусловлено повышенной боковой нагрузкой на крепь; ближе к замкам податливости рамы напряжения снижаются до уровня $\sigma_z = 25 - 50$ МПа;

- в криволинейной части стоек рамы величина σ_z изменяется малосущественно и практически остается на предыдущем уровне $\sigma_z = 25 - 50$ МПа; в прямолинейной части стоек происходит дальнейшее снижение $\sigma_z = 0 - 25$ МПа с возникновением локальных очагов растягивающих $\sigma_z = 2,5 - 10$ МПа в районе опор стоек;

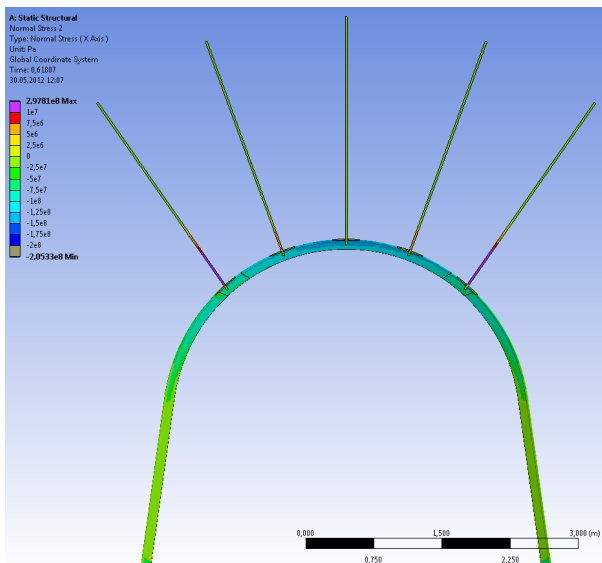


Рис. 7.14. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 170 - 180$ сут.)

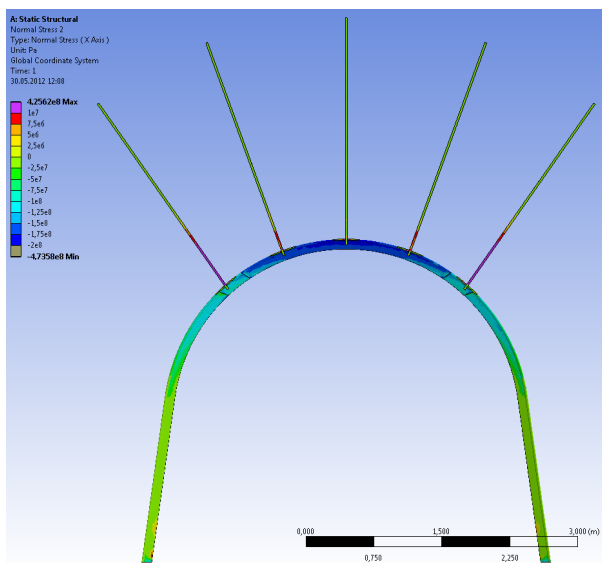


Рис. 7.15. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 360 - 370$ сут.)

– анкера практически разгружены на большей части своей длины (растягивающие $\sigma_z = 0 - 2,5$ МПа); причем четко проявляется закономерность увеличения величины растягивающих σ_z для периферийных анкеров: если анкер в замке свода практически не загружен, то смежные анкера уже испытывают $\sigma_z = 2,5 - 7,5$ МПа на участке 0,30 – 0,35 м, а периферийные анкера подвержены растягивающим $\sigma_z = 10 - 40$ МПа на длине 0,40 – 0,45 м; это вполне объясняется наклоном периферийных анкеров в сторону действия компоненты σ_z .

Тенденции изменения поля σ_z в крепежной системе выемочной выработки во времени t ее поддержания характеризуются так:

– центральная часть верхняка рамы загружена более существенно ($\sigma_z = 150 - 175$ МПа), а далее в районе замков податливости и криволинейной части стоек напряжения падают до уровня $\sigma_z = 50 - 125$ МПа, в их прямолинейной части $\sigma_z = 0 - 50$ МПа; тем не менее, присутствуют уже два очага растягивающих $\sigma_z = 25 - 10$ МПа по-прежнему в районе опор стоек;

– в анкерах сохраняется прежняя закономерность увеличения растягивающих σ_z (на ближних к выработке участках длины анкеров) в периферийных анкерах: центральный анкер не загружен, соседние испытывают растяжение уровня $\sigma_z = 5 - 10$ МПа на участке 0,30 – 0,35 м, а периферийные $\sigma_z = 10 - 100$ МПа на участке 0,65 – 0,70 м.

Таких образом, реологические процессы в окружающем массиве проявляют однозначную тенденцию к увеличению нагруженности элементов крепежной системы по фактору действия горизонтальных напряжений σ_z .

7.2.3. АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Последней анализируемой компонентой являются приведенные напряжения σ , эпюры которых во времени t поддержания выработки приведены на: рис. 7.16 – $t = 5 - 8$ сут., рис. 7.17 – $t = 170 - 180$ сут., рис. 7.18 – $t = 360 - 370$ сут.

В начале срока поддержания выемочной выработки (см. рис. 7.16) распределение приведенных напряжений σ (которые сравниваются с соответствующим значением предела текучести σ_T сталей) в элементах крепежной системы характеризуется следующими особенностями:

– верхняя рама находится в весьма устойчивом состоянии, так как действующие напряжения $\sigma = 70 - 100$ МПа, что в несколько раз меньше расчетного предела текучести стали рамной крепи ($\sigma_T = 270$ МПа); сама эпюра σ достаточно равномерно распределена по контуру верхняка и в его поперечном сечении;

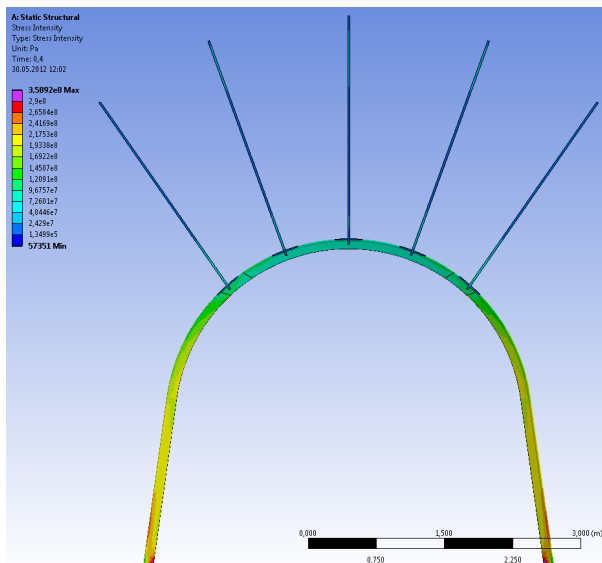


Рис. 7.16. Эпюра приведенных напряжений σ в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 5 - 8$ сут.)

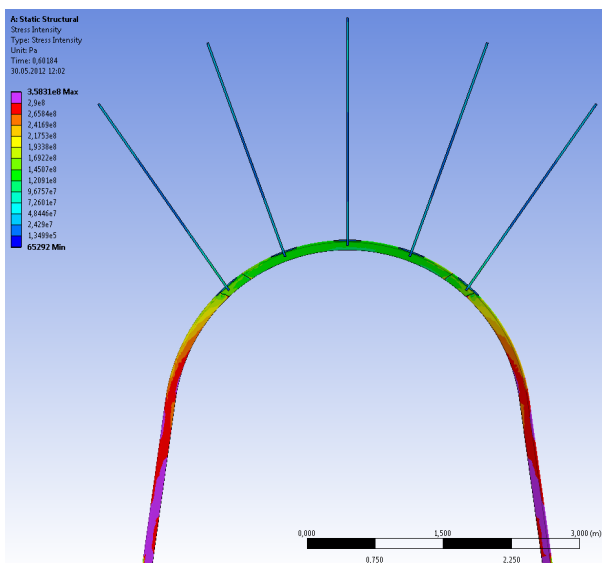


Рис. 7.17. Эпюра приведенных напряжений σ в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 170 - 180$ сут.)

– в криволинейной части стоек рамы наблюдается постепенный рост σ до значений 150 – 200 МПа, что уже составляет 56 – 74% от предела текучести σ_T ; в прямолинейной части стоек распределение σ достаточно стабильны в пределах указанной величины, а ближе к опорам стоек рамы, начиная с высоты 0,7 – 0,8 м возникают локальные области с концентрацией $\sigma = 210 – 250$ МПа, величина которой уже близка к значению σ_T ; расположение областей концентрации указывает на знакопеременный изгиб стойки сначала в полость выработки (на высоте 0,3 – 0,5 м от почвы выработки), а ниже (в опоре стойки) – в сторону массива;

– анкера весьма недогружены, на что указывает интервал действующих напряжений $\sigma = 15 – 70$ МПа по их длине.

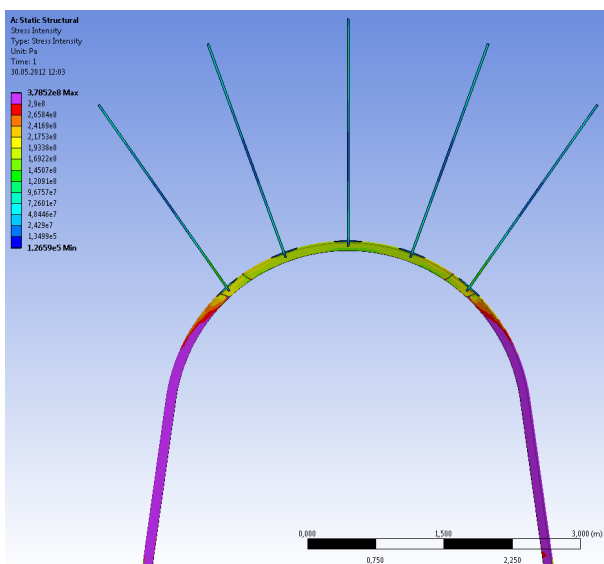


Рис. 7.18. Эпюра приведенных напряжений σ в крепежной системе выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ ($t = 360 – 370$ сут.)

В процессе поддержания выемочной выработки происходит изменение поля σ во времени t (см. рис. 7.17 и рис. 7.18):

– реологические процессы в массиве обуславливают существенный рост напряжений σ практически во всех элементах крепежной системы; так что в верхняке рамы приведенные напряжения увеличиваются до 170 – 210 МПа (63 – 78% от σ_T), что указывает на постепенную загрузку ее верхняка;

– в стойках рамы по большей части их длины напряжения $\sigma = 290 – 330$ МПа вызывают их пластическое состояние, приводящее к нарушению

устойчивой формы крепи и пластическому деформированию в полость выработки (потеря сечения); этот процесс усиливается проявлением интенсивных знакопеременных деформаций по высоте стойки: в полость выработки на высоте 1,6 – 2,3 м, в сторону массива на высоте 1,3 – 1,5 м, в полость выработки на высоте 0,6 – 1,2 м, в сторону массива на высоте 0,2 – 0,3 м, и, наконец, в опоре стойки – в полость выработки; в результате стойки теряют устойчивость и ухудшают эксплуатационное состояние рамы;

– самыми недогруженными элементами остаются анкера, хотя в них напряжения σ повышаются до уровня 25 – 170 МПа на разных участках их длины.

В результате установлено, что даже на участке поддержания выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ повышенная боковая нагрузка вызывает неустойчивое состояние стоек рамной крепи, которые необходимо усиливать, например, с помощью установки боковых анкеров и осуществления их механической связи со стойками рамной крепи [3].

ВЫВОДЫ

В результате проведения вычислительного эксперимента для подчиненной модели выемочной выработки на участке вне зоны влияния очистных работ и анализа закономерностей изменения НДС вмещающего массива и крепежной системы установлены следующие факты:

– в процессе поддержания выемочной выработки длительны период наблюдаются две противоположные тенденции изменения поля вертикальных напряжений σ_y : снижаются размеры области действия растягивающих σ_y в кровле и почве, но более значимо возрастает как область опорного давления в боках, так и величина концентрации сжимающих σ_y , приводящих к разупрочнению некоторых объемов пород и формированию повышенной боковой нагрузки на рамную крепь;

– наблюдается небольшое развитие аномалий поля σ_z во времени поддержания выемочной выработки, однако, сочетание в приконтурных породах ее боков растягивающих σ_z с концентрацией сжимающих σ_y представляет опасность для целостности горной породы;

– имеет место развитие областей концентрации приведенных напряжений σ и их величины в боках выработки с увеличением времени t ее поддержания, что способствует появлению разрушающих породу напряжений, хотя и в ограниченных областях приконтурных пород шириной до 1,8 м; тем не менее, эти области способны создать повышенную боковую нагрузку на стойки рамной крепи;

– установлен наиболее нагруженный элемент крепежной системы (рамная крепь КШПУ и опорно-анкерное крепление в кровле) – стойки рамной крепи, состояние которых представляет опасность для устойчивости выработки (со

сроком поддержания 1 год и более) по факту действия вертикальных напряжений σ_y ;

– реологические процессы в окружающем массиве проявляют однозначную тенденцию увеличения нагруженности элементов крепежной системы по фактору действия горизонтальных напряжений σ_z ;

– зафиксирован существенный рост приведенных напряжений σ во времени t практически во всех элементах крепежной системы: в верхняке рамы σ достигают 170 – 210 МПа (63 – 78% от предела текучести σ_T стали рамы), что указывает на постепенно нарастающую во времени загрузку верхняка; в стойках рамы развиваются напряжения $\sigma = 290 – 330$ МПа, обуславливающие их пластическое состояние и приводящее к нарушению устойчивой формы рамной крепи – этот процесс усиливается проявлением интенсивных знакопеременных деформаций изгиба по высоте стойки с малой длиной периода изменения знака кривизны.

Установлено, что даже на участке поддержания выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ повышенная боковая нагрузка со стороны массива вызывает неустойчивое состояние стоек рамной крепи, которые необходимо усиливать. В практике поддержания горных выработок на шахтах Западного Донбасса известно наиболее ресурсосберегающее и простое техническое решение по установке анкеров в боках выработки и их соединении с рамами пространственно-податливыми связями, создающими дополнительные опоры стойкам и повышающими несущую способность рамной крепи в боковом направлении. Данное мероприятие следует выполнять до момента подхода и влияния зоны опорного давления впереди очистного забоя, а наиболее технологически приемлемый период – отставание на 1 – 1,5 месяца от проходческого забоя.

8. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ГРУЗОНЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВПЕРЕДИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

8.1. ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Комплексность и всесторонность оценки состояния и разработки рекомендаций по повторному использованию выемочных выработок предполагает изучение геомеханических процессов на каждом из наиболее характерных участков их поддержания, что изложено в разделе 1 при формулировке стратегической концепции проведения исследований. Руководствуясь этими методическими положениями, *основная задача данного раздела* состоит в определении и анализе НДС вмещающего массива и крепежной системы (с учетом крепи усиления) выемочной выработки на следующем этапе ее поддержания, когда она попадает в зону опорного давления впереди лавы вплоть до участка сопряжения с очистным забоем. Эта задача многофункциональна:

– *во-первых*, оценивается эффективность конструктивных параметров крепи усиления;

– *во-вторых*, на основе анализа НДС определяются «узкие места» в существующей технологии поддержания выработки и намечаются пути ее совершенствования;

– *в-третьих*, результаты выполнения подчиненной задачи являются сравнительной базой для оценки рекомендуемых крепежной системы;

– *в-четвертых*, в процессе исследований проводятся как тестирование геомеханической модели, так и ее отработка в плане надежности и стабильности проведения вычислительного эксперимента.

Выполнение этой задачи потребовало изменения параметров геомеханической модели по сравнению с участком поддержания выемочной выработки вне зоны влияния очистных работ. С одной стороны, изменяется напряженное состояние окружающего горного массива по сравнению с таковым на участке вне зоны влияния очистных работ – появляются аномалии горного давления вокруг выемочной выработки, обусловленные очистными работами, как это отражено в механизме сдвижения надугольной толщи (см. главу 5) и установлено при анализе НДС макромодели (см. главу 6). Учет влияния очистных работ (на участке подхода лавы) при обосновании и построении подчиненной модели №2 выемочной выработки осуществлен исходя из следующих положений.

Первое – опорная зона впереди лавы характеризуется повышенными вертикальными напряжениями σ_y в углевмещающем массиве, концентрация которых усиливается по мере приближения к угольному пласту. При

этом возникает вопрос – какую величину концентрации σ_y , задавать в качестве граничного условия при построении и расчете подчиненной модели №2?

Второе – области опорного давления по бокам выемочной выработки также характеризуются концентрацией σ_y , увеличивающейся по мере приближения к выработке и угольному пласту, но величина σ_y разная для левого и правого бортов выработки и отличается от σ_y в зоне опорного давления впереди лавы. Здесь присутствует тот же вопрос относительно концентрации σ_y , используемой в подчиненной модели №2. Следовательно, необходимо согласовать указанные аномальные области для наиболее адекватного и достоверного отражения влияния очистных работ в подчиненной модели №2. Это согласование произведено на основе анализа поля σ_y в макромодели и подчиненных моделях №1 и №2 в процессе их тестирования по следующим условиям:

– *во-первых*, области с одинаковой концентрацией $\frac{\sigma_y}{\gamma H}$ должны распро-

страняться в кровлю угольного пласта на, примерно, равную высоту в зоне опорного давления впереди лавы и областей опорного давления в боках выработки;

– *во-вторых*, высота (по координате Y) распространения данной концентрации $\frac{\sigma_y}{\gamma H}$ должна превышать суммарную мощность слоев основной кровли, формирующих нагрузку как на концевые секции механизированной крепи, так и на крепежную систему выемочной выработки, что не вносит изменений в их НДС.

Одновременное выполнение указанных условий достигается на высоте 18,5 – 18,9 м от угольного пласта, где действует концентрация $\frac{\sigma_y}{\gamma H} = 1,8 - 2,1$.

По данным параметрам обоснованы граничные условия нагружения подчиненной модели №2: на верхней границе модели, проходящей по контакту алевролита и песчаника на высоте 18,95 м действуют начальные вертикальные напряжения $\sigma_y = 2\gamma H$; остальные граничные условия остаются прежними.

Другая сторона изменений подчиненной модели №2 касается введения дополнительных крепежных элементов:

– впереди очистного забоя на расстоянии не меньше 20 м устанавливаются деревянные стойки крепи усиления под верхняк рамы с некоторым смещением в сторону рабочего борта выработки согласно действующих паспортов лав, например, на шахте «им. Н.И. Сташкова»;

– также в соответствии с указанной документацией в непосредственной кровле угольного пласта в районе замка податливости рамы устанавливается дополнительный анкер длиной 2,4 м под углом $10 - 20^\circ$ к горизонтالي; этот анкер предназначен для поддержания кровли непосредственно над бермой штрека после прохода лавы.

По обоснованным параметрам подчиненной геомеханической модели №2 выемочной выработки в зоне опорного давления впереди лавы был произведен расчет ее НДС.

8.2. ИССЛЕДОВАНИЕ НДС МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ В ЗОНЕ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ВПЕРЕДИ ЛАВЫ

Анализ НДС выполнен отдельно для породного массива вокруг выемочной выработки и для ее крепежной системы, что способствует более детальному и точному изучению полей напряжений. Исследование проведено для трех основных компонент напряжений: вертикальных σ_y , горизонтальных σ_x и приведенных напряжений σ .

Приняты во внимание существенные изменения полей напряжений при приближении лавы к рассматриваемому сечению выемочной выработки. С другой стороны, участок длины выработки (по координате X), где действует опорное давление от приближающейся лавы, относительно невелик (несколько десятков метров), а мероприятия по усилению крепежной системы (в соответствии с паспортом ведения очистных работ) также проводятся на небольшом участке – не менее 20 м. Данное расстояние при стабильной работе лавы она проходит за 4 – 7 суток, в течение которых реологические процессы (связанные с опорным давлением) находятся только в начальной стадии развития. Но, учитывая повышенную напряженность массива из-за приближающейся лавы, реологический фактор действует весьма интенсивно и подчиненная модель №2 рассчитывается также в реологической постановке за период времени $t = 7$ сут. Поэтому для выявления закономерностей нарастания горного давления и изменения компонент напряжений в модели во времени зафиксированы три его значения: $t = 1$ сут., $t = 4$ сут., $t = 7$ сут., которые проиллюстрированы на соответствующих эпюрах полей напряжений.

8.2.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Эпюры вертикальных напряжений σ_y в окружающем выработку породном массиве приведены на трех рисунках: рис. 8.1 – $t = 1$ сут., рис. 8.2 – $t = 4$ сут., рис. 8.3 – $t = 7$ сут.

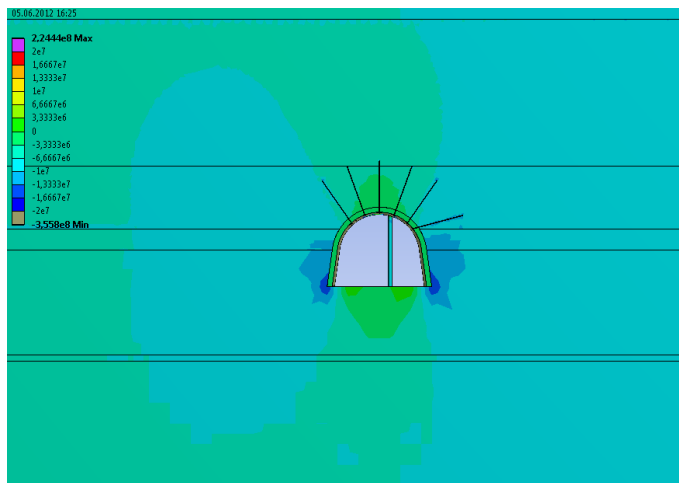


Рис. 8.1. Эюра вертикальных напряжений σ_y в окружающем выработку породном массиве в начале зоны опорного давления впереди лавы ($t = 1$ сут.)

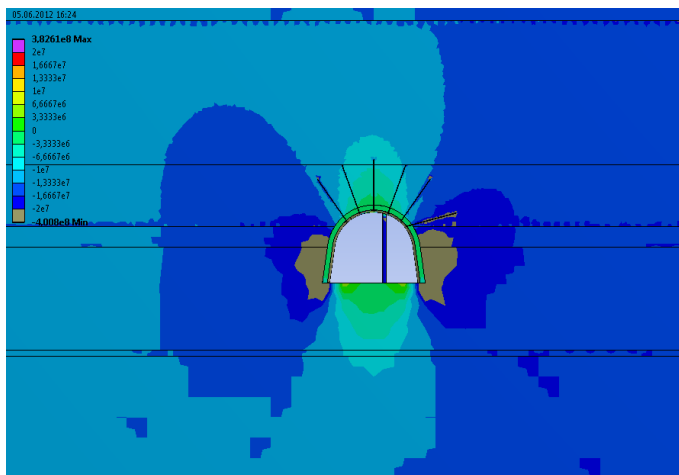


Рис. 8.2. Эюра вертикальных напряжений σ_y в окружающем выработку породном массиве посредине участка опорного давления впереди лавы ($t = 4$ сут.)

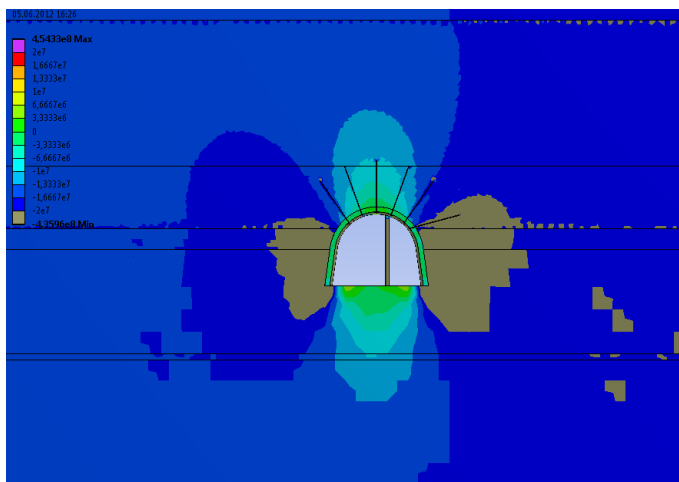


Рис. 8.3. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в окружающем выработку породном массиве вблизи очистного забоя ($t = 7$ сут.)

Следует отметить, что поле распределения σ_y в зоне опорного давления по многим позициям имеет качественное соответствие с эпюрой σ_y на участке вне зоны влияния очистных работ. Так, в непосредственной кровле и почве образуются сводообразные области разгрузки компоненты σ_y с появлением растягивающих напряжений, а в боках выработки формируются концентрации сжимающих σ_y ; все отмеченные области изменяют свои параметры по мере приближения лавы. Уже в начале зоны опорного давления (см. рис. 8.1) параметры областей разгрузки в кровле и почве в количественном плане отличаются от таковых для участка выработки вне зоны влияния очистных работ. В кровле высота области действия растягивающих σ_y увеличивается в 1,4 – 1,6 раза, а величина σ_y возрастает до 3 – 4 раз; интенсифицируются процессы расслоения пород кровли и распространяются на больший объем пород, следовательно, растет нагрузка на крепежную систему со стороны кровли выемочной выработки. Аналогичные процессы развиваются и в области разгрузки, размещенной в почве выработки, – значит, следует ожидать более активного проявления пучения пород почвы. В боках выработки концентрации сжимающих σ_y приобретают явно выраженную асимметрию распределения: со стороны смежного выемочного участка (нерабочего борта выработки) размеры области даже сокращаются в 1,3 – 1,4 раза; со стороны приближающейся лавы область концентрации сжимающих σ_y многократно увеличивается по сравнению с участком выработки

вне зоны влияния очистных работ.

По мере приближения лавы (увеличение длительности t периода пребывания рассматриваемого сечения выемочной выработки в зоне опорного давления) в окружающем породном массиве наблюдаются две разноплановые закономерности изменения вертикальных напряжений σ_y (см. рис. 8.2 и 8.3). С одной стороны, в кровле и почве выработки происходит существенное ограничение (в 2,7 – 3,0 раза в кровле и в 1,7 – 1,9 раза в почве) размеров областей действия растягивающих σ_y . Очевидно, это обусловлено общим ростом напряженности массива (увеличивается концентрация сжимающих σ_y в зоне опорного давления), а также процессом релаксации напряжений, которому растягивающие σ_y , особенно чувствительны. Отмеченное снижение растягивающих σ_y ни в коей мере не способствует повышению устойчивости пород кровли и почвы, ведь они уже испытали расслоение на предыдущих этапах поддержания выемочной выработки. Напротив, сжимающие $\sigma_y = 10 - 13$ МПа в уже разупрочненной породе провоцируют дальнейшее ее разрушение и увеличение неустойчивых объемов пород в кровле и почве. Таким образом, закономерность снижения растягивающих σ_y не противоречит общеизвестной тенденции усиления проявлений горного давления по мере приближения очистного забоя.

Другая закономерность отражает увеличение концентраций сжимающих σ_y и расширение областей их распространения в боках выработки. Концентрация σ_y увеличиваются в 1,6 – 2,0 раза, а области их распространения по-прежнему асимметричны по отношению к вертикальной оси выработки: со стороны смежного выемочного участка равнозначные σ_y распространяются несколько обширнее, чем вне зоны влияния очистных работ; со стороны приближающейся лавы равнозначные концентрации σ_y увеличиваются многократно как по отношению к нерабочему борту выработки, так и в сравнении с участком выработки вне зоны влияния очистных работ.

По итогам анализа развития поля вертикальных напряжений σ_y в зоне опорного давления впереди лавы сделаны следующие выводы:

– в начале зоны опорного давления степень разгрузки и размеры областей ее распространения в кровле и почве увеличиваются (по сравнению с участком выработки, расположенным вне зоны влияния очистных работ), что интенсифицирует процесс расслоения пород и, соответственно, проявления горного давления в кровле и почве выработки;

– в боках выработки опорное давление характеризуется значительной асимметрией распределения концентраций сжимающих σ_y с многократным усилением со стороны приближающейся лавы;

– по мере подхода очистного забоя наблюдается закономерность снижения величины и области распространения растягивающих σ_y в кровле и почве выемочной выработки с переходом уже в приконтурных породах в сжимающие σ_y , которые провоцируют дальнейшее разупрочнение частично нарушенных пород и усиление проявлений горного давления;

– в боках выработки по мере приближения лавы увеличиваются концентрации сжимающих σ_y , размеры областей их распространения и степень асимметрии поля σ_y .

8.2.2. АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Далее рассмотрено поле горизонтальных напряжений σ_z и тенденции его изменения по мере приближения очистного забоя; распределение компоненты σ_z проиллюстрировано тремя эпюрами: рис. 8.4 – $t = 1$ сут.; рис. 8.5 – $t = 4$ сут.; рис. 8.6 – $t = 7$ сут.

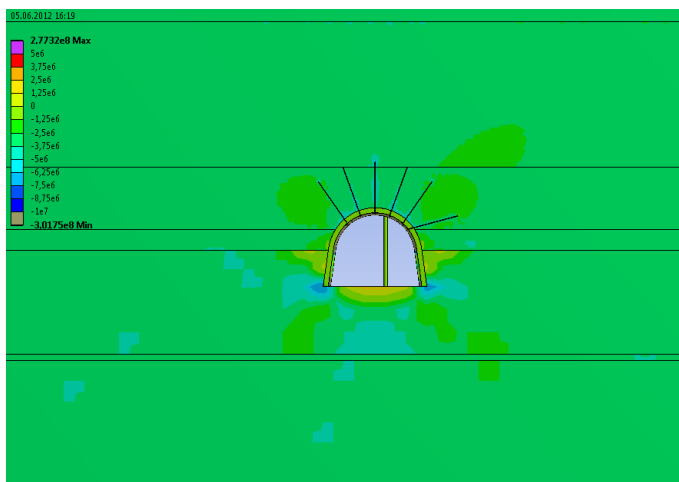


Рис. 8.4. Эпюры горизонтальных напряжений σ_z в окружающей выемочную выработку породном массиве в начале зоны опорного давления впереди лавы ($t = 1$ сут.)

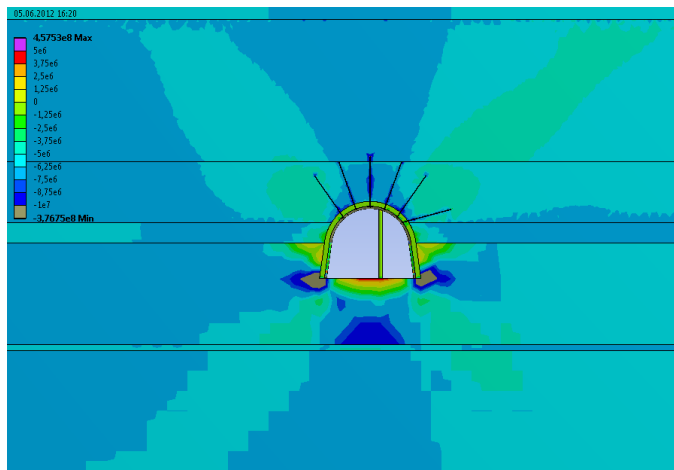


Рис. 8.5. Эпюры горизонтальных напряжений σ_z в окружающем выемочную выработку породном массиве по середине участка опорного давления впереди лавы ($t = 4$ сут.)

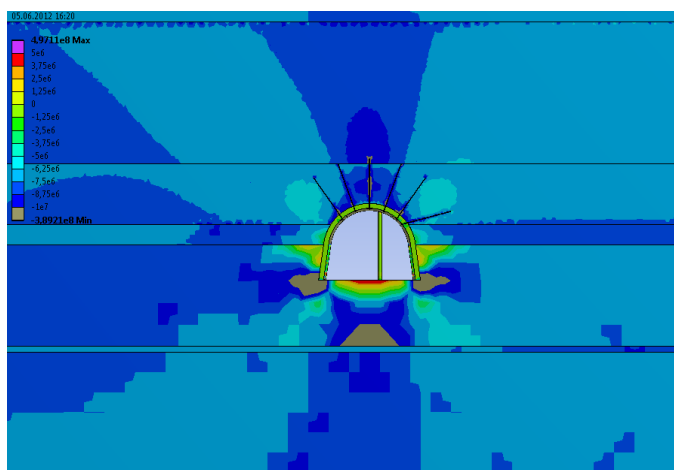


Рис. 8.6. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в окружающем выемочную выработку породном массиве вблизи очистного забоя ($t = 7$ сут.)

В начале зоны опорного давления эпюра σ_z характеризуется достаточной равномерностью распределения за исключением ограниченного объема приконтурного массива (см. рис. 8.4). Основное сосредоточение растягивающих σ_z до 2,5 МПа – почва выработки практически по всей ее ширине и

на глубину до 0,8 м. В боках выработки по большей части высоты подрывки пород почвы действуют растягивающие $\sigma_z < 1,5$ МПа по ширине до 1,6 м, которые характеризуют процесс изгиба верхней приконтурной части непосредственной почвы в зоне опорного давления. В районе опор стоек действуют небольшие концентрации сжимающих $\sigma_z \leq 7,5$ МПа, имеющих локальное распространение.

По мере приближения лавы происходят следующие тенденции изменения поля σ_z в породном массиве, окружающем выемочную выработку (см. рис. 8.5 и 8.6):

- усиливается расслоение приконтурных пород почвы по причине увеличения растягивающих напряжений σ_z до 5 – 7 МПа; при этом глубина расслоения практически не меняется;

- возникают концентрации сжимающих $\sigma_z = 10 - 30$ МПа в области непосредственной почвы, примыкающей к основной; это указывает на усиление изгибных деформаций непосредственной почвы в полость выработки;

- расширяются ограниченные области концентрации $\sigma_z = 10 - 50$ МПа под опорами стоек рам, что указывает на усиление вертикального горного давления на рамную крепь, передающееся от ее стоек на породы непосредственной почвы;

- в верхней части непосредственной почвы, примыкающей к угольному пласту, усиливаются концентрации растягивающих σ_z до 2,5 – 4 МПа без расширения областей их распространения; тем не менее, в этих областях происходит расслоение породы с формированием повышенной боковой нагрузки в районе прямолинейной части стоек рамы;

- в остальных областях прилегающего массива колебания сжимающих σ_z относительно начального состояния невелики – до 10 – 20%.

В целом можно отметить относительно слабое влияние подхода лавы на изменения поля горизонтальных напряжений σ_z .

8.2.3. АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Заключительной компонентой оценки состояния близлежащего к выработке породного массива является приведенные напряжения σ , эпюры которых для различных периодов времени t проиллюстрированы на рис. 8.7 – $t = 1$ сут.; рис. 8.8 – $t = 4$ сут.; рис. 8.9 – $t = 7$ сут.

В начале зоны опорного давления эпюра σ характеризуется небольшой асимметрией распределения (относительно вертикальной оси выработки) в сторону приближающейся лавы (рис. 8.7). Зоны разгрузки затрагивают первые слои основной кровли и почвы с уровнем действующих напряжений $\sigma = 1 - 3$ МПа. В боках выработки концентрация $\sigma = 14 - 17$ МПа имеет весьма огра-

ниченное распространение до 0,4 м, а ширина действия $\sigma = 10 - 13$ МПа не превышает 1,9 м в верхней части непосредственной почвы. Также невысокая концентрация $\sigma = 10 - 14$ МПа действует под опорами стоек рамной крепи. Приведенные данные указывают на слабое влияние зоны опорного давления в начальной период его воздействия, что вполне согласуется с экспериментальными исследованиями по замеру перемещений породного контура выемочной выработки.

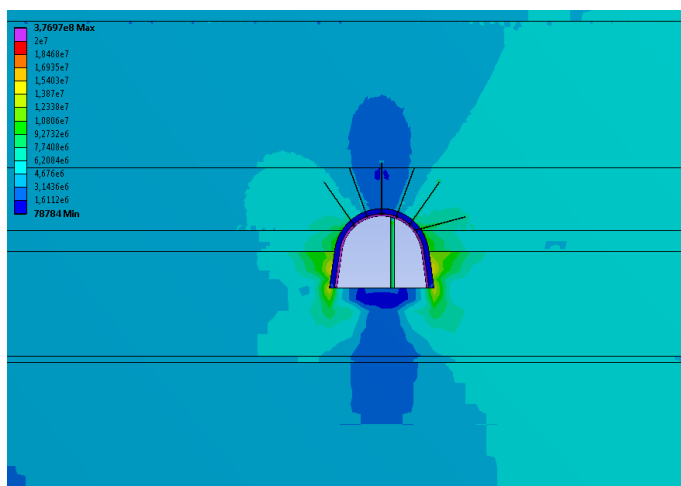


Рис. 8.7. Эпюра приведенных напряжений σ в окружающем выемочную выработку породном массиве в начале зоны опорного давления впереди лавы ($t = 1$ сут.)

По мере подхода лавы к рассматриваемому сечению выработки ее влияние усиливается (см. рис. 8.8 и 8.9):

- степень разгрузки σ в кровле и почве снижается и локализуется в небольших областях, а в остальных объемах пород величина $\sigma = 5 - 7$ МПа уже несколько превышает исходное состояние массива;

- в боках выработки усиливается асимметрия распределения σ : если со стороны смежного выемочного участка величина напряжений $\sigma = 11 - 12$ МПа распространяется на высоту до 13 – 16 м и ширину до 7 – 8 м, то со стороны подошедшей лавы такие напряжения доходят до границ модели;

- в приконтурных боковых породах на всю высоту выработки и под опорами стоек рамы действуют разрушающие концентрации $\sigma = 20 - 70$ МПа, распространяющиеся по ширине до 2,1 м.

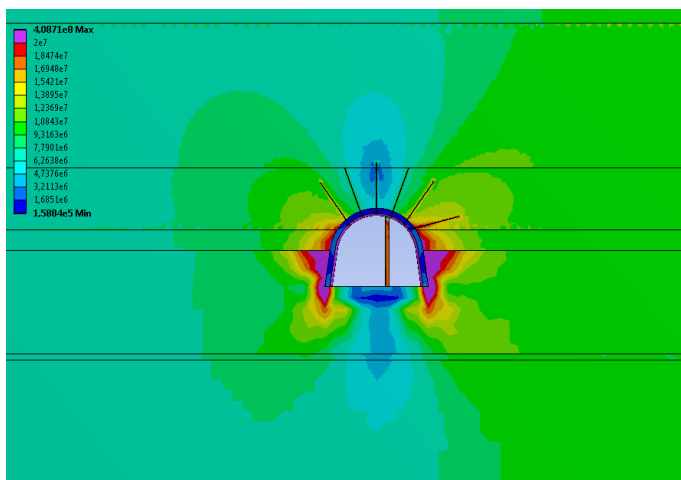


Рис. 8.8. Эпюра приведенных напряжений σ в окружающем выемочную выработку породном массиве по середине участка опорного давления впереди лавы ($t = 4$ сут.)

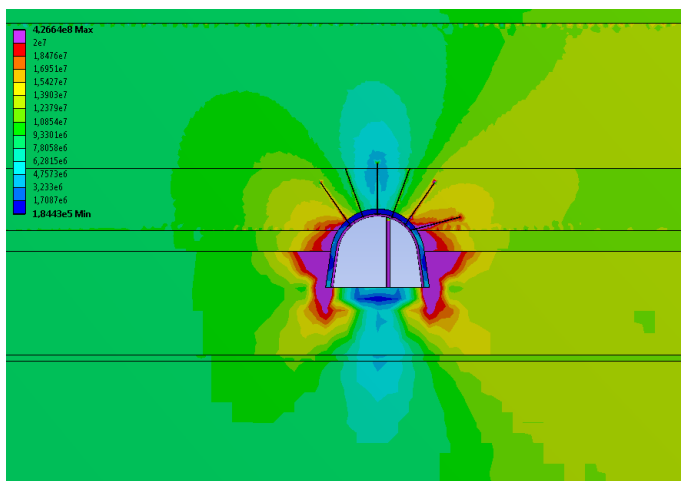


Рис. 8.9. Эпюра приведенных напряжений σ в окружающем выемочную выработку породном массиве вблизи очистного забоя ($t = 7$ сут.)

Таким образом, отмечается достаточно неустойчивое состояние приконтурных пород в боках выемочной выработки, занимающих существенный объем и по этой причине способных создавать повышенную боковую нагрузку на крепежную систему. Также обращает внимание активное расслоение приконтурных пород почвы на глубину до 0,8 м, что провоцирует ее пучение.

8.3. АНАЛИЗ НДС КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ ВПЕРЕДИ ЛАВЫ В ЗОНЕ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Основная цель настоящего подраздела состоит в оценке НДС крепежной системы выемочной выработки на участке, попадающем в зону опорного давления впереди лавы. Анализ компонент напряжений (σ_y , σ_x и σ) производится в каждом грузонесущем элементе: рамной крепи, анкерах и стойках усиления.

8.3.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Изменение поля вертикальных напряжений σ_y по мере приближения лавы показано на трех эпюрах: рис. 8.10 – $t = 1$ сут, рис. 8.11 – $t = 4$ сут, рис. 8.12 – $t = 7$ сут.

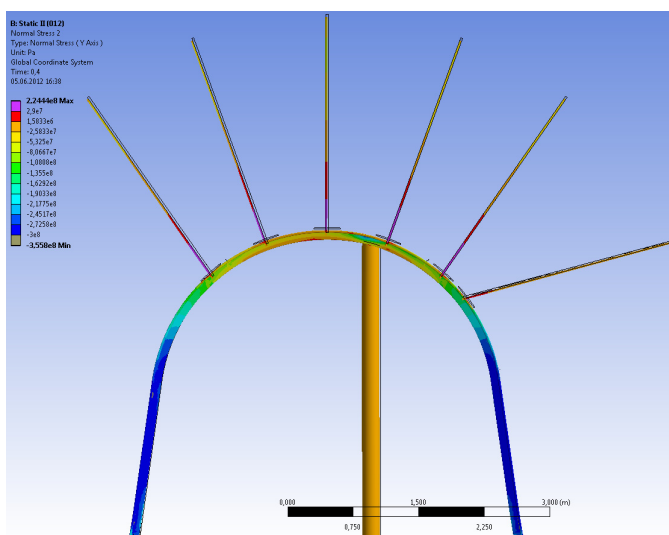


Рис. 8.10. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежной системе выемочной выработки в начале зоны опорного давления ($t = 1$ сут.)

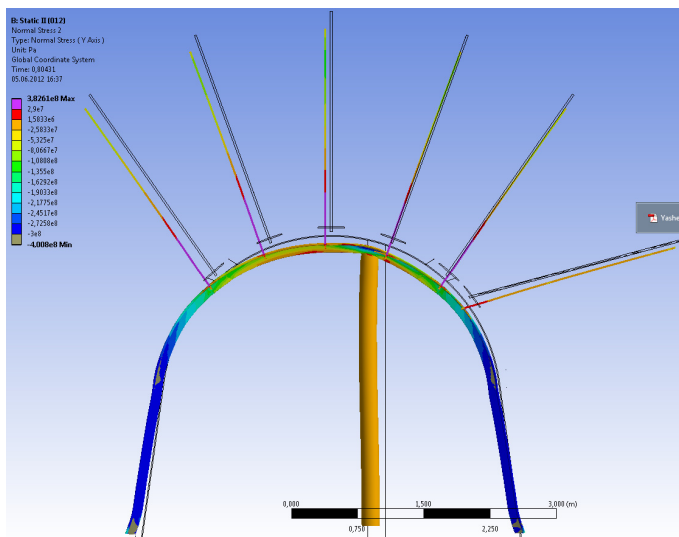


Рис. 8.11. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежной системе выемочной выработки по середине участка опорного давления ($t = 4$ сут.)

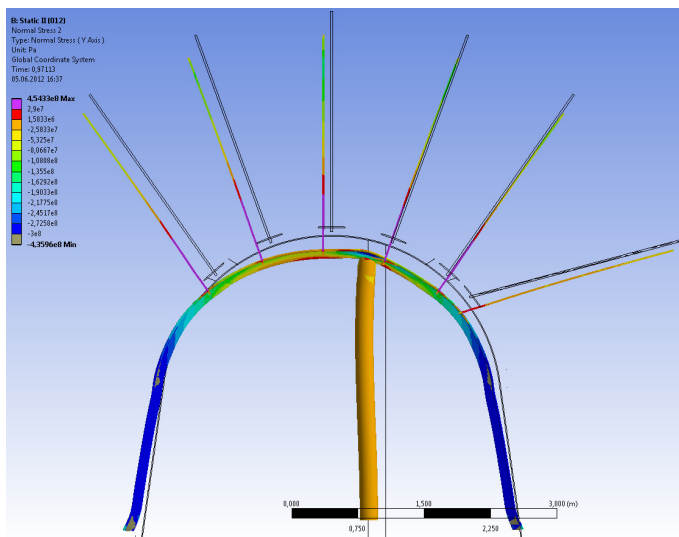


Рис. 8.12. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежной системе выемочной выработки вблизи очистного забоя ($t = 7$ сут.)

В начале зоны опорного давления отмечается разная степень нагруженности основных несущих элементов (см. рис. 8.10). Верхняя рама наименее нагружена – в центральной части свода действуют знакопеременные напряжения от растягивающих $\sigma_y = 1,5 - 25$ МПа до сжимающих $\sigma_y = 25 - 70$ МПа; в районе замков податливости и контакта со стойкой крепи усиления сжимающие σ_y увеличиваются до 100 – 130 МПа. В криволинейной части стоек рамы продолжается стабильный рост вертикальных напряжений, величина которых в прямолинейной части стоек $\sigma_y = 250 - 280$ МПа достигает расчетного предела текучести стали Ст.5 ($\sigma_T = 270$ МПа). То есть, уже в начале зоны опорного давления вертикальная нагрузка на стойки рамы обуславливает наступление предельного состояния только по фактору компоненты σ_y практически по всей прямолинейной их длине. Здесь следует учесть, что другие компоненты напряжений в зависимости от их знака могут как усилить, так и ограничить предельное состояние стоек рам.

В качестве крепи усиления смоделирована деревянная стойка диаметром 20 см. По ее высоте наблюдается достаточно равномерное распределение вертикальных напряжений, а в поперечном сечении неравномерность σ_y указывает на действие изгибающего момента, обусловленного косо направленной нагрузкой на крепежную систему со стороны приближающейся лавы. Изгиб стоек крепи усиления еще визуально не прослеживается, однако ее смещение в горизонтальном направлении уже составляет 20 – 25 мм при одновременном вертикальном перемещении опоры (за счет пучения почвы) 30 – 35 мм. Действие продольных сжимающих усилий и изгибающего момента приводит к изменению σ_y от небольших растягивающих значений до 1,5 МПа (со стороны нерабочего борта выработки) до сжимающих $\sigma_y = 20 - 35$ МПа со стороны приближающейся лавы; при этом следует учесть, что расчетное сопротивление сжатию сосны вдоль волокон составляет $(\sigma_{сж})_{II} = 40$ МПа и крайние волокна деревянной стойки уже приближаются к предельному состоянию.

Распределение σ_y по длине анкеров отличается достаточно стабильной закономерностью вне зависимости от координат их установки; некоторое исключение составляет лишь дополнительный анкер со стороны приближающейся лавы (угол наклона 15° к горизонтали). Эта закономерность характеризуется следующими чертами:

- на заглубленных концах анкеров (примерно 25 – 40% их длины) действуют небольшие сжимающие усилия $\sigma_y = 20 - 45$ МПа, обусловленные более активным опусканием основной кровли в зоне опорного давления;

- на срединном участке анкеров (порядка 25 – 35% их длины) сжимающие σ_y переходят в растягивающие небольшой величины до 10 – 15 МПа,

что характеризует начало области расслоения пород кровли;

– на концевых участках анкеров, примыкающих к выработке (30 – 35% длины) интенсивно возрастают растягивающие σ_y от 20 – 30 МПа до 30 – 130 МПа, что свидетельствует об активизации процесса расслоения приконтурных пород кровли. В целом состояние арматуры анкеров далеко от пластического ($\sigma_T = 230$ МПа), но следует отметить эффективность выполнения возложенной на них функции по ограничению опускания непосредственной кровли и защите от перегрузок верхняка рамы.

В процессе приближения очистного забоя наблюдаются следующие тенденции изменения поля вертикальных напряжений (см. рис. 8.11 и 8.12): верхняк рамы, несмотря на опорно-анкерное крепление, перемещается на 180 – 220 мм в полость выработки с некоторой асимметрией со стороны приближающейся лавы. В области контакта верхняка со стойкой крепи усиления наблюдаются локальные концентрации сжимающих $\sigma_y = 140 – 230$ МПа, что вызывает искривление его первоначальной формы. На остальной длине верхняка рамы отмечены прежние тенденции изменения поля σ_y с увеличением их значений до 30 – 40%. Однако, в пределах длины верхняка уровень действующих напряжений (порядка 30 – 75% от σ_T) не вызывает нарушения его устойчивого состояния ни на одном из участков. В стойках рамной крепи также происходит усиление их НДС:

– практически по всей длине стоек сжимающие напряжения $\sigma_y = 240 – 300$ МПа приближаются к расчетному пределу текучести σ_T , либо несколько его превышают (до 10 – 11%);

– образуются две локальные области заведомо пластического состояния стали Ст.5 ($\sigma_y = 300 – 340$ МПа) на высоте 1,7 – 1,9 м от почвы выработки и в районе опоры стойки.

Анкерная крепь перемещается в полость выработки совместно с приконтурным породным массивом. Величина и направление перемещений разных анкеров отличаются друг от друга, то есть характеризуются разновекторностью смещений. Так, центральный и два анкера со стороны нерабочего борта, помимо вертикальных перемещений, испытывают боковую подвижку в сторону нетронутого массива, которая для крайнего анкера уже составляет 190 мм. С противоположного борта выработки (со стороны приближающейся лавы) два анкера, ближайших к центральному, практически не отклоняются (до 35 – 45 мм) от своей оси при перемещении в полость выработки. Следовательно, направление смещения приконтурных пород практически совпадает с продольной осью указанных анкеров и является косонаправленным по отношению к выработке. Дополнительный крайний анкер в кровле пласта смещается не только вдоль своей оси на 145 мм, но и опускается к почве на 130 мм, то есть, испытывает деформации изгиба.

Известно, что анкер любой конструкции наиболее эффективно сопротивляется деформациям, направленным вдоль оси анкера. В этом плане два наклонных анкера со стороны приближающейся лавы сориентированы весьма удачно и их упрочняющий эффект будет максимальным. Нижерасположенный дополнительный анкер, не меняя координат его установки, следует направить под углом $30 - 40^\circ$ к горизонтали для обеспечения его соосности с направлением вектора полных перемещений в данной области приконтурных пород. Вертикальный анкер и два наклонных со стороны нерабочего борта выработки целесообразно оставить по существующей сетке армирования, так как при повторном использовании выработки произойдет почти зеркальное (относительно вертикальной оси) изменение вектора полных перемещений приконтурных пород кровли.

Основные черты распределения вертикальных напряжений по длине анкера остаются прежними, но увеличивается на $30 - 40\%$ длина участка действия повышенных растягивающих σ_y и их величина достигает $100 - 180$ МПа, что также на $25 - 35\%$ выше, чем в начале участка влияния опорного давления впереди лавы. В целом можно отметить, что анкера достаточно эффективно противодействуют горному давлению с сопротивлением до $75 - 80\%$ от своей несущей способности.

По мере приближения лавы деревянная стойка крепи усиления начинает деформироваться с изгибом в сторону нерабочего борта выработки; в этом же направлении происходит ее смещение до $130 - 160$ мм, что еще раз указывает на проявление косонаправленной нагрузки. Для ограничения (или полного исключения) отмеченного явления рекомендуется осуществить два мероприятия:

- стойки крепи усиления устанавливаются под углом $10 - 20^\circ$ к вертикальной оси с наклоном в сторону приближающейся лавы;
- стойки должны обладать конструктивной податливостью порядка $200 - 250$ мм во избежание потери устойчивости и пластических деформаций изгиба верхняка в районе его контакта со стойкой крепи усиления.

Сами же напряжения σ_y в деревянной стойке малочувствительны к усиливаемому опорному давлению и за исключением небольшой области не превышают расчетного сопротивления сосны сжатию вдоль волокон.

8.3.2. АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

По той же схеме проанализировано поле горизонтальных напряжений σ_z в крепежной системе, эпюры которых по мере приближения лавы на участке действия опорного давления представлены на рис. 8.13 – 8.15.

В начале участка зоны опорного давления в рамной крепи наблюдаются следующие особенности распределения поля горизонтальных напряжений. Верхняя рама испытывает переменные сжимающие σ_z от $50 - 70$ МПа в

районе пяты свода до 110 – 160 МПа в его замке, где распределение компоненты σ_z в поперечном сечении СВП указывает на активный изгиб замка свода в полость выработки. Отдельно следует отметить локальную концентрацию в области контакта со стойкой крепи усиления; здесь действуют сжимающие $\sigma_z = 180 – 260$ МПа, а на противоположной поверхности СВП напряжения резко снижаются с переходом в небольшие (до 1 – 5 МПа) растягивающие. В области контакта стойки крепи усиления и верхняка происходят значительные деформации последнего и развивается его искривление (в сторону кровли) если не обеспечить податливость стойки. Таким образом, и по фактору распределения горизонтальных напряжений σ_z очевиден вывод о необходимости установки податливой стойки крепи усиления. Стойки рамной крепи не испытывают существенных напряжений σ_z : они изменяются от небольших сжимающих до 30 – 70 МПа в криволинейной части до небольших растягивающих (0 – 10 МПа) в прямолинейной части стоек.

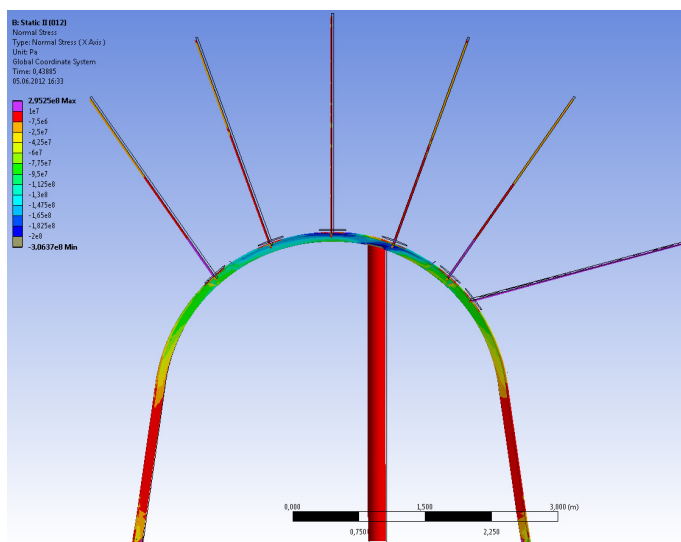


Рис. 8.13. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в крепежной системе выемочной выработки в начале зоны опорного давления ($t = 1$ сут.)

Стойка крепи усиления также находится под воздействием небольших (до 7,5 – 10 МПа) знакопеременных горизонтальных напряжений σ_z , которые достаточно равномерно распределены как по высоте стойки, так и в ее поперечном сечении.

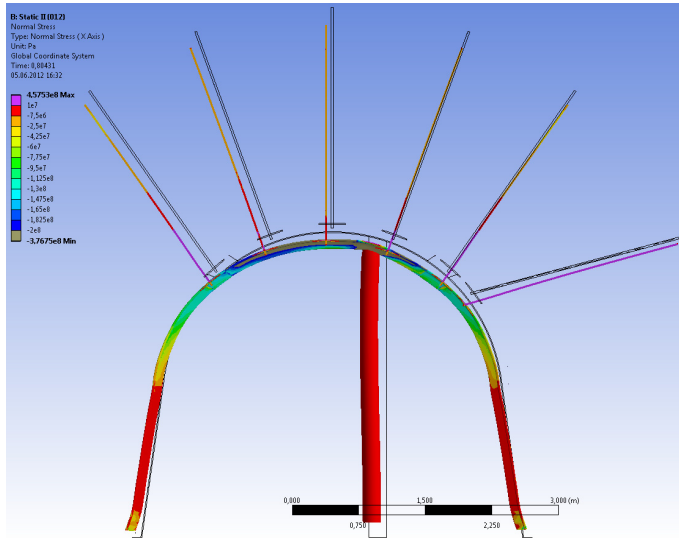


Рис. 8.14. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z
в крепежной системе выемочной выработки
по середине участка опорного давления ($t = 4$ сут.)

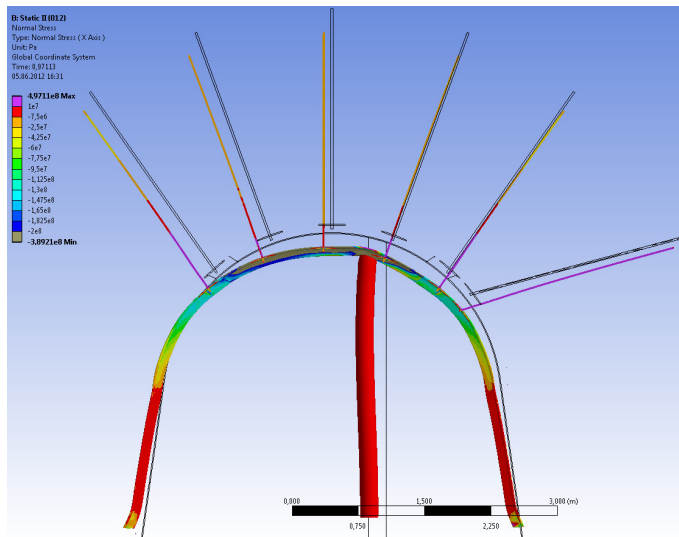


Рис. 8.15. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z
в крепежной системе выемочной выработки
вблизи очистного забоя ($t = 7$ сут.)

Распределение компоненты σ_z в анкерах зависит от координат и направления их установки:

- в центральном анкере, установленном вертикально, напряжения σ_z практически отсутствуют (от сжимающих максимум 7,5 МПа до растягивающих максимум 10 МПа);

- в периферийных анкерах с увеличением их угла наклона (по отношению к вертикальной оси) напряжения σ_z увеличиваются обоими знаками: сжимающие $\sigma_z = 20 - 40$ МПа в заглубленной части анкера, растягивающие $\sigma_z = 10 - 40$ МПа ближе к контуру выработки;

- наиболее нагруженным является дополнительный анкер со стороны приближающейся лавы; в нем растягивающие σ_z достигают 30 – 80 МПа по всей длине в 2,4 м.

По мере подхода лавы (см. рис. 8.14 и 8.15) напряжения σ_z возрастают во всех элементах крепежной системы.

Под действием вертикальной нагрузки происходит выполаживание верхняка: в верхней части его поперечного сечения действуют сжимающие $\sigma_z = 210 - 280$ МПа, приближающиеся или равные пределу текучести стали Ст.5; само изменение формы центральной части свода и области контакта верхняка со стойкой крепи усиления указывает на появление пластических деформаций. Рост напряжений σ_z в стойках рамы не столь существенный и не превышает 10 – 15% на любом из участков их длины. Аналогичный вывод касается изменения σ_z в стойках крепи усиления.

В анкерах по мере приближения лавы увеличивается в 1,5 – 2,2 раза длина наиболее загруженных участков анкеров, примыкающих к выработке, а также растут величины растягивающих напряжений, особенно, в дополнительном анкере до значений $\sigma_z = 50 - 70$ МПа.

В целом по фактору изменения поля горизонтальных напряжений σ_z подтверждаются выводы, сформулированные при анализе вертикальной компоненты σ_y .

8.3.3. АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Итоговой компонентой, подвергнутой исследованию в крепежной системе выемочной выработки, являются приведенные напряжения σ , эпюры которых приведены на рис. 8.16 – 8.18.

В начале зоны опорного давления впереди лавы (рис. 8.16) поле σ в элементах крепежной системы характеризуется следующими особенностями. В рамной крепи (как и на участке вне зоны влияния очистных работ) наиболее нагруженными являются стойки. Верхняя рама, благодаря опорно-

анкерному креплению и стойке крепи усиления, находится в относительно разгруженном состоянии:

- в центральной части свода σ составляют всего 52 – 70% от предела текучести стали Ст.5;
- в районе пяты свода напряжения увеличиваются до $\sigma = 200 – 260$ МПа и приближаются к предельному состоянию;
- в локальной области контакта стойки крепи усиления с верхняком действуют концентрации $\sigma = 180 – 250$ МПа, которые в дальнейшем приводят к активному изгибу верхняка с потерей его первоначальной формы.

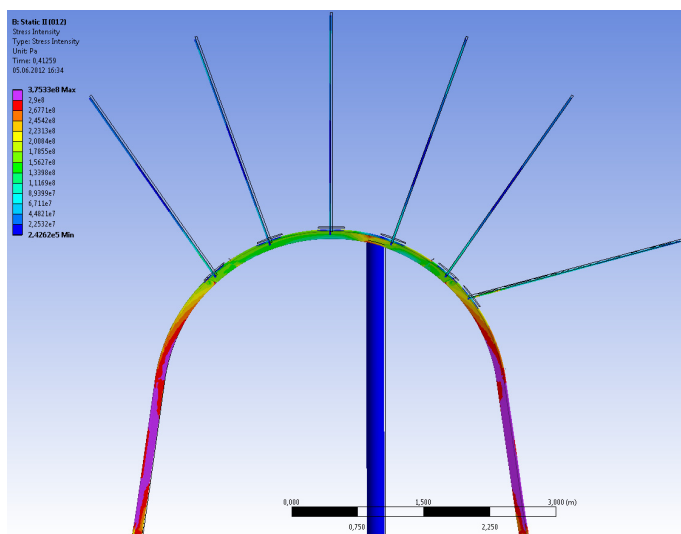


Рис. 8.16. Эпюра приведенных напряжений σ в крепежной системе выемочной выработки в начале зоны опорного давления ($t = 1$ сут.)

В стойках рамы, особенно по длине прямолинейной части $\sigma = 260 – 300$ МПа вызывают пластическое состояние (или близкое к нему) их материала. Характер распределения σ по сечению СВП указывает на участки активного изгиба стоек:

- в полость выработки на высоте 1,8 – 2,2 м;
- в сторону боковых пород на высоте 1,4 – 1,7 м;
- в полость выработки на высоте 0,7 – 1,3 м;
- в сторону боковых пород в районе опоры стойки на высоте до 0,3 – 0,5 м.

Такой знакопеременный изгиб вызывает потерю устойчивости стойки рамы и требует ее усиления.

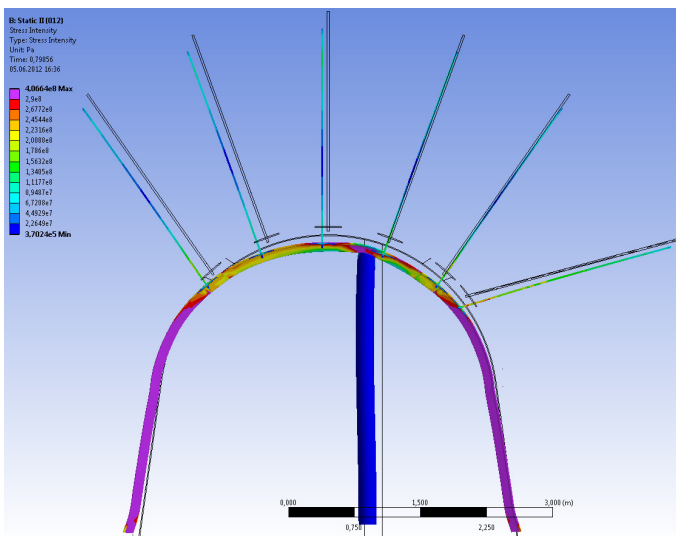


Рис. 8.17. Эпюры приведенных напряжений σ в крепежной системе выемочной выработки по середине участка опорного давления ($t = 4$ сут.)

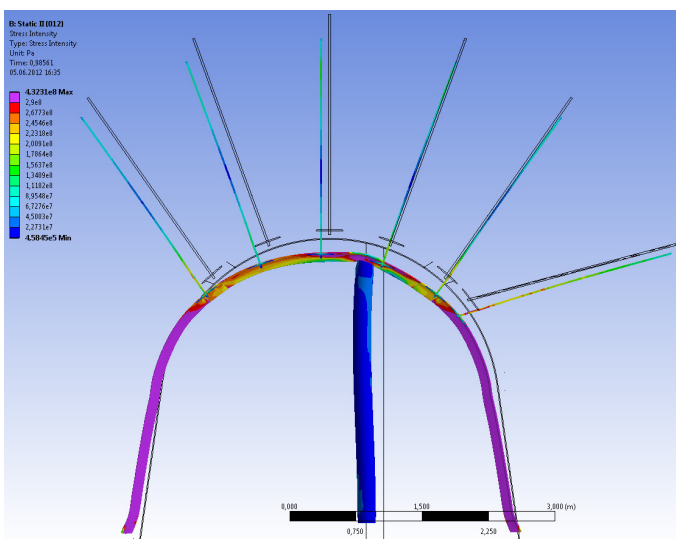


Рис. 8.18. Эпюра приведенных напряжений σ в крепежной системе выемочной выработки вблизи очистного забоя ($t = 7$ сут.)

Стойка крепи усиления характеризуется достаточно равномерным распределением σ по длине и в поперечном сечении; уровень $\sigma = 20 - 40$ МПа указывает на ее устойчивость в целом, но верхняя граница σ уже достигает предела прочности на сжатие сосны вдоль волокон.

Анкера в системе опорно-анкерного крепления пока не испытывают значительной нагрузки ($\sigma = 50 - 90$ МПа) по большей части своей длины и только на ближних к выработке участках $\sigma = 110 - 140$ МПа. Исключение составляет дополнительный анкер со стороны лавы, где максимумы $\sigma = 180 - 210$ МПа уже приближаются к расчетному пределу текучести арматуры анкера.

При подходе лавы (см. рис. 8.17 и 8.18) наблюдаются следующие закономерности изменения приведенных напряжений в крепежной системе выемочной выработки. В рамной крепи ее верхняк выполаживается с появлением предельного состояния ($\sigma = 260 - 290$ МПа) в верхней части поперечного сечения СВП, а в области контакта со стойкой крепи усиления пластические деформации развиваются еще более интенсивно ($\sigma \geq 290$ МПа), что вызывает перегиб верхняка и еще раз указывает на необходимость установки стоек усиления с определенной податливостью.

Стойки рамной крепи практически по всей своей длине переходят в пластическое состояние и требуют усиления в боковом направлении.

Приведенные напряжения в стойке крепи усиления изменяются не столь существенно, однако в ее верхней части, где наблюдается максимальный изгиб, появляются локальные области с разрушающими напряжениями $\sigma = 45 - 55$ МПа. В этом плане обеспечение конструктивной податливости стоек крепи усиления позволит выполнить две позитивные функции: снизить напряжения и деформации изгиба в самих стойках и одновременно ограничить пластические деформации в верхняке рамы и его перегиб в области контакта со стойкой крепи усиления.

В анкерах опорно-анкерной крепи, особенно периферийных, происходит увеличение σ до значений $200 - 260$ МПа на примыкающих к выработке участках их длины. В дополнительном анкере действуют повышенные напряжения (до 290 МПа) на более протяженном участке его длины. Эпюра приведенных напряжений σ в анкерах (вблизи очистного забоя) указывает на практически полную загрузку периферийных анкеров, а наименее нагруженным является центральный вертикальный анкер.

ВЫВОДЫ

Из анализа НДС крепежной системы выемочной выработки в зоне опорного давления впереди лавы вытекают ряд выводов с соответствующими рекомендациями:

– наблюдаются пластические области в верхняке рамы с максимальной концентрацией напряжений в районе контакта со стойкой крепи усиления;

именно в этом месте происходит изгиб верхняка с общей тенденцией его выполаживания; ограничение данного явления обеспечит установка стоек крепи усиления с конструктивной податливостью не менее 200 – 250 мм;

– стойки рамной крепи нуждаются в усилении для повышения их сопротивления боковым нагрузкам; это реализуется установкой боковых анкеров с пространственно-податливыми связями со стойками рамы;

– стойки крепи усиления целесообразно устанавливать с углом наклона 80° в сторону приближающейся лавы; такое положение стоек соответствует вектору полных перемещений приконтурных пород кровли в месте их установки и ограничит их изгиб с общим увеличением устойчивости;

– периферийные анкера (системы опорно-анкерного крепления) работают с полной нагрузкой, а параметры их установки соответствуют вектору полных перемещений приконтурных пород кровли со стороны приближающейся лавы; дополнительный анкер является наиболее нагруженным вследствие изгиба и его целесообразно устанавливать под углом $30 - 40^\circ$ к горизонтальной оси, что повышает эффективность сопротивления сдвигению кровли выработки и ограничит раскрытие трещин, параллельных выработке, над ее бермой.

9. ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ ПОСЛЕ ПРОХОДА ЛАВЫ

9.1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В различных горно-геологических условиях Донбасса экспериментальные наблюдения за состоянием выемочных выработок отмечают неизменную тенденцию достижения максимумов скорости $(V_U)_{max}$ развития смещений породного контура в районе сопряжения с лавой и ее достаточно резкое падение позади. В условиях Западного Донбасса максимум $(V_U)_{max}$ располагается позади груди забоя обычно на расстоянии 5 – 7 м, то есть, находится, примерно, на задней границе рабочего пространства лавы, позади которого возводится та или иная охранная конструкция. На этом участке длиной до 10 – 12 м (с учетом полноценного включения в работу охранной конструкции) происходит резкое падение V_U в 2 – 3 раза и более, что характеризует начало периода затухания проявлений горного давления и их относительной стабилизации. Такая особенность обусловлена, на наш взгляд, двумя причинами:

- *во-первых*, рассматриваемое сечение выемочной выработки уже оказалось позади участка активного опускания и обрушения основной кровли в выработанном пространстве, следовательно, длина породных консолей над выработкой снизилась, что привело к уменьшению нагрузки на ее крепь;
- *во-вторых*, в работу вступила охранная конструкция, ограничивающая перемещения породного контура выемочной выработки.

Такая закономерность $V_U(x)$ изменения скорости перемещений породного контура выработки по мере удаления лавы (координата X) обуславливает достаточно интенсивное затухание развития абсолютных величин сближения кровли и почвы $U_{K,П}$, а также боков U_6 , которое и было зафиксировано экспериментально как доказательство начала процесса стабилизации проявлений горного давления после прохода лавы.

Принимая во внимание вышеизложенное, разработан следующий подход к моделированию НДС окружающего массива, крепежной и охранной систем выемочной выработки позади лавы.

Во-первых, для создания обоснованных рекомендаций по выбору параметров крепежных и охранных систем на участке позади лавы необходимо иметь базу для сравнительного анализа НДС геомеханической системы. Такой базой является применяемая на шахте технологическая схема поддер-

жания выработки, предназначенной для повторного использования. Она характеризуется установкой вслед за лавой следующих элементов охраны:

- на уступе бермы выработки устанавливаются в разбежку два ряда деревянных стоек под брус;
- далее в глубь выработанного пространства возводится опорная часть охранной конструкции, состоящая из деревянных накатных костров (брусья, уложенные вплосную), чередующихся с тремя рядами деревянных стоек;
- на границе с выработанным пространством (за опорной частью) устанавливается обрезная крепь, состоящая из двух рядов деревянных стоек.

Во-вторых, в выработанном пространстве моделируются обрушенные породы по высоте 3 м, соответствующей мощности непосредственной кровли, с одной стороны, и расчетной мощности обрушенных пород, необходимой (с учетом разрыхления породного объема) для создания подпора опускающимся вышележащим слоям основной кровли и стабилизации геомеханических процессов, с другой стороны. Модуль деформации обрушенных пород $E_{об}$ принят переменным (отражение процесса уплотнения обрушенных пород) от 2 – 5 МПа в начальной стадии уплотнения и до 30 – 50 МПа в ходе стабилизации проявлений горного давления.

В-третьих, над выработкой и охранной системой непосредственная кровля моделируется в виде плиты с небольшой устойчивой консолью с вылетом 0,5 – 0,6 м за крайний ряд обрезной крепи. Эта плита передает на крепежную и охранную систему опорную нагрузку со стороны вышележащих слоев основной кровли, что определенным образом отражает боковую зону опорного давления со стороны смежного выемочного участка.

В-четвертых, необходимо отразить процесс отхода лавы от исследуемого сечения выемочной выработки, который происходит во времени и пространстве одновременно с изменением состояния углевмещающего массива в окрестности выработки и сопротивления ее охранной и крепежной систем. С этой точки зрения обязательна реологическая постановка задачи расчета НДС геомеханической системы с моделированием следующих закономерностей по мере отхода лавы:

- развивается опускание породных слоев основной кровли, при котором все больший породный объем вовлекается в формирование нагрузки на крепежную и охранную системы выемочной выработки;
- происходит обрушение породных плит кровли с уменьшением длины зависающих консолей (в поперечном сечении выработки) над выработанным пространством; это способствует снижению нагрузки на крепежную и охранную системы;
- увеличивается сопротивление охранной системы по мере опускания породных слоев основной кровли, что способствует улучшению состояния крепежной системы выработки; однако, эта тенденция действует только при сохранении устойчивого состояния элементов охранной конструкции;
- увеличивается сопротивление обрушенных пород выработанного пространства, примыкающих к выработке, что облегчает работу ее крепежной и

охранной системы.

Отмеченные тенденции неоднозначны в плане поддержания выемочной выработки позади очистного забоя и описываются за счет использования реологической модели в сочетании с учетом пластических деформаций любого из элементов геомеханической системы. Но, существует еще одна позиция реального отражения процесса отхода лавы – изменение (по координате X длины выемочного участка) параметров аномальных зон вокруг выработки и, в первую очередь, области бокового опорного давления со стороны нетронутого массива. Здесь принято решение моделировать наиболее высокую концентрацию опорного давления (в момент обрушения породных консолей) на протяжении всего исследуемого участка, а факт снижения концентраций σ_y в зоне стабилизации горного давления пойдет в некоторый запас прочности.

Временной отрезок моделирования отхода лавы выбран из следующих соображений. Охранная конструкция возводится сразу же за ограждением концевых секций механизированной крепи, а некоторые ее элементы уже расположены в «окне» лавы, ширина которого соответствует, примерно, суточному подвиганию лавы. К нему добавим еще одни сутки на процесс нагружения вновь возведенного участка охранной конструкции опускающимися породными плитами. В итоге представляется целесообразным изучить НДС геомеханической системы спустя двое суток после ее нагружения. Здесь необходимо отметить, что в случае остановки лавы на длительный период (до 2 суток) упомянутая выше идеализация относительно постоянства (по координате X) параметров аномальных зон не требуется, а такой вариант развития событий является наиболее неблагоприятным с точки зрения устойчивости выемочной выработки.

Второй участок анализа НДС геомеханической системы касается зоны стабилизации проявлений горного давления, которая по шахтным исследованиям наступает позади лавы на расстоянии от 40 – 60 м до 100 – 120 м. Это расстояние находится в пределах месячного подвигания очистного забоя, вследствие чего с некоторым запасом по времени будем анализировать НДС модели спустя 1 месяц с момента ее нагружения. К тому же, обычно спустя месяц ползучесть деформаций горных пород Западного Донбасса активно затухает и такой временной промежуток реализует подавляющую часть этих деформаций, что способствует повышению адекватности исследований.

Для более детального изучения поля НДС в геомеханической системе анализу подвергнуты три компоненты напряжений: вертикальная σ_y , горизонтальная σ_z и приведенные напряжения σ , исследование распределения которых разделено на две составляющие – вмещающий выемочную выработку горный массив; крепежная и охранная системы выработки (после прохода лавы) при существующей технологии ее поддержания.

9.2. АНАЛИЗ НДС БЛИЗЛЕЖАЩЕГО ГОРНОГО МАССИВА

9.2.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Поле распределения вертикальных напряжений σ_y проанализированы для двух положений сечения выемочной выработки: начало ($t = 2$ сут.) нарастания сопротивления охранной системы (рис. 9.1), возведенной после прохода лавы; зона стабилизации проявлений горного давления (рис. 9.2), образующаяся через $t = 1$ мес. после прохода лавы.

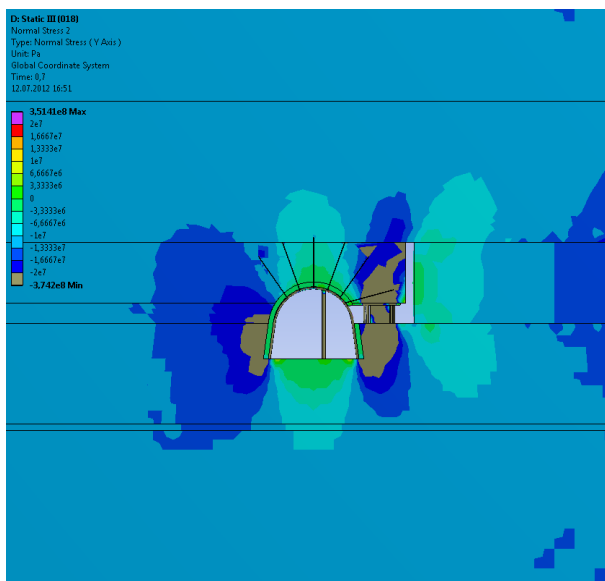


Рис. 9.1. Эпюра вертикальных напряжений σ_y во вмещающем выработку породном массиве в начальный период сопротивления охранной системы ($t = 2$ сут.)

Общая асимметрия распределения σ_y появилась еще в зоне опорного давления впереди первой лавы (см. §8.2) и после ее прохода еще более усиливается (см. рис. 9.1), что обусловлено очистными работами. В непосредственной кровле свод расслоения породы от растягивающих σ_y достаточно ограничен по высоте (до 1,1 м), что обусловлено ростом общей напряженности массива в ходе ведения очистных работ, где растягивающие

σ_y имеют весьма локальное распространение и связаны в основном с местными деформациями изгиба и расслоением породных слоев. Данное утверждение касается и пород непосредственной почвы, где процесс расслоения ограничен глубиной 1,2 – 1,6 м. Также образуется локальная область растягивающих σ_y в районе контакта устойчивой консоли непосредственной кровли (над охранной конструкцией) и обрушенными породами выработанного пространства, которая характеризует процесс выдавливания последних в полости и пустоты за рядами органной крепи.

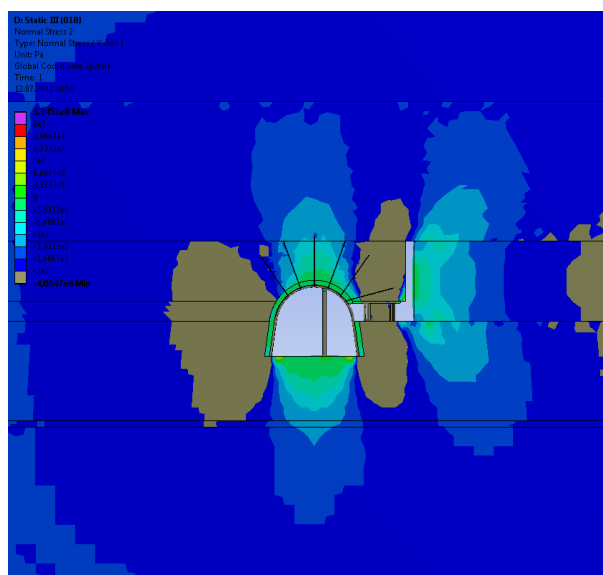


Рис. 9.2. Эпюра вертикальных напряжений σ_y во вмещающем выработку породном массиве на участке стабилизации проявлений горного давления ($t = 1$ мес.)

По бокам выработки образуются разновеликие зоны опорного давления. Со стороны нетронутого массива (смежного выемочного участка) область концентрации сжимающих σ_y распространяется на гораздо большее расстояние (по простиранию пласта – до 5,8 – 7,2 м), но характеризуется плавным ростом σ_y вплоть до максимальных значений в 50 – 70 МПа. Такая величина σ_y является разрушающей как для угольного пласта, так и для пород непосредственной почвы. Поэтому, прогнозируется разупрочнение боковых приконтурных пород по всей высоте подрывки почвы (плюс нижняя часть угольного пласта и область под опорами стоек рамы) на расстояние в

массиве до 1,5 – 1,7 м. Отмеченная область формирует повышенную боковую нагрузку на стойки рамы, которые рекомендуется усиливать установкой не менее двух боковых анкеров с пространственно-податливыми их связями со стойками рамы.

Со стороны выработанного пространства в районе расположения охранной системы образуется в кровле и почве более ограниченная (по координате Z) зона опорного давления, но с повышенной интенсивностью изменения концентраций сжимающих σ_y . Зона опорного давления действует по ширине 2,0 – 2,6 м (то есть, примерно, соответствует ширине охранной конструкции), а основное ее распространение происходит в кровлю до 5,0 – 5,4 м и в почву до 4,3 – 4,6 м. В то же время области высоких концентраций $\sigma_y = 50 - 70$ МПа здесь существенно больше, а в некоторых весьма ограниченных областях сжимающие σ_y превышают 100 МПа. Причина этого лежит в достаточно малой площади охранной системы, на которую опираются опускающиеся породы кровли. Таким образом, подтверждается общеизвестный факт, что большинство охранных конструкций провоцируют концентрации сжимающих σ_y в непосредственной кровле и почве пласта и сохранению устойчивости этих породных объемов следует уделять особое внимание. В этом плане дополнительный боковой анкер в кровле пласта играет позитивную роль, а увеличение угла его наклона (до 30 – 40° к горизонтальной оси) обеспечит увеличение объемов упрочняемой породы. В непосредственной почве также рекомендуется упрочнить боковыми анкерами породы бермы выработки, поскольку прогнозируется их неустойчивое состояние.

Теперь рассмотрим поле σ_y на участке стабилизации проявлений горного давления позади лавы (см. рис. 9.2) с акцентом на тенденции изменения в сравнении с предыдущим участком выемочной выработки.

В непосредственной кровле над выработкой область действия растягивающих σ_y сокращается на 25 – 30%. Аналогичный процесс происходит в непосредственной почве, где глубина распространения σ_y уменьшается на 20 – 25%. Данная тенденция объясняется, на наш взгляд, ползучестью деформаций приконтурных пород, сглаживающей аномалии растягивающих напряжений σ_y .

Зоны опорного давления по бокам выработки преобразуются в основном в плане расширения областей действия повышенных концентраций $\sigma_y \geq 30$ МПа, а максимальные значения σ_y возрастают всего на 7 – 9%. Такая закономерность объясняется действием двух противоположных тенденций. С одной стороны, благодаря релаксации напряжений происходит сглаживание концентраций напряжений с расширением областей их распространения. С другой стороны, благодаря ползучести деформаций растут объемы

пород кровли угольного пласта, вовлекаемые в формирование нагрузки на крепежную и охранную системы выемочной выработки, а также на приконтурный массив.

По итогам анализа поля вертикальных напряжений можно сделать следующие выводы:

- наибольшую опасность для устойчивости выемочной выработки представляют зоны опорного давления в ее боках, где по фактору компоненты σ_y прогнозируется разупрочнение определенных породных объемов;

- для противодействия боковой нагрузке со стороны смежного выемочно-го участка рекомендуется установка не менее двух боковых анкеров с их соединением со стойками рамы пространственно-податливыми механическими связями;

- в непосредственной кровле над охранной конструкцией целесообразна установка дополнительного бокового анкера под углом $30 - 40^\circ$ к горизонтали;

- для обеспечения устойчивости пород бермы выработки целесообразна установка двух боковых анкеров по высоте подрывки непосредственной почвы угольного пласта.

9.2.2. АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Поля горизонтальных напряжений σ_z для двух участков проявления горного давления в выработке позади очистного забоя приведены на рис. 9.3 и 9.4. В первую очередь оценивается распределение σ_z на участке начала сопротивления охранной системы (см. рис. 9.3). В основной кровле четко прослеживается ее знакопеременный изгиб: на участке размещения охранной системы наблюдается изгиб в сторону почвы с повышенными сжимающими $\sigma_z = 30 - 50$ МПа в районе консольного защемления; далее над выработанным пространством имеет место изгиб породного слоя противоположного знака с появлением растягивающих $\sigma_z = 3 - 6$ МПа, которые формируют трещины разрыва, параллельные выемочной выработке. Такая картина изгиба слоя основной кровли соответствует существующим представлениям и указывает на два фактора:

- *во-первых*, охранная конструкция провоцирует обрушение слоев основной кровли при дальнейшем увеличении сжимающих σ_z в области консольного защемления;

- *во-вторых*, «постель» из обрушенных пород своим сопротивлением при уплотнении способствует формированию зоны шарнирно-блокового сдвижения.

Оба фактора действуют в направлении снижения нагрузки на охранную систему в первую очередь и отчасти на крепежную систему выемочной выработки.

В непосредственной кровле наблюдается ее прогиб в центральной части выработки, однако, благодаря анкерному упрочнению ее состояние можно оценить как достаточно устойчивое. Над охранной системой в непосредственной кровле формируется область небольших растягивающих $\sigma_z \leq 3 - 5$ МПа, проявление которой обусловлено возможностью деформирования породы (по координате Z) в полости и пустоты на границе выработанного пространства. Также сочетание пониженных сжимающих (или растягивающих) σ_z с повышенными сжимающими σ_y , представляет опасность для устойчивости непосредственной кровли над охранной системой.

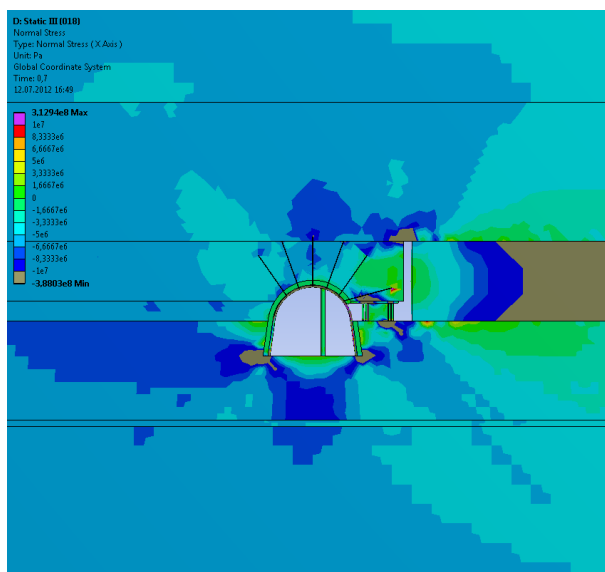


Рис. 9.3. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z во вмещающем выработку породном массиве в начальный период сопротивления охранной системы ($t = 2$ сут.)

В породах непосредственной почвы действуют такие аномалии поля σ_z :

- со стороны нетронутого массива под воздействием жесткого угольного пласта происходит изгиб верхней части породного слоя и образуется область пониженных сжимающих σ_z с переходом в небольшие растягивающие до 3 – 5 МПа; их сочетание с повышенными сжимающими σ_y , провоцирует разупрочнение указанной области породного массива;
- аналогичная картина наблюдается и в приконтурных породах бермы выработки, а в локальной области под рядами органичной крепи возникает

концентрация сжимающих σ_z до 20 – 50 МПа, которая также может вызвать местное разупрочнение породы;

– на примыкающем участке выработанного пространства непосредственная почва изгибается в сторону кровли с появлением растягивающих σ_z до 3 – 9 МПа, которые образуют трещины разрыва; но, эти напряжения σ_z не представляют опасности, так как здесь действуют также пониженные σ_y ;

– в породах почвы выработки происходит расслоение от растягивающих σ_z , однако его глубина существенно меньше, чем от растягивающих σ_y , особенно, в зоне опорного давления впереди лавы;

– локальные области концентраций сжимающих $\sigma_z = 20 – 50$ МПа образуются под опорами стоек рамы и могут вызвать разупрочнение ограниченных объемов породы.

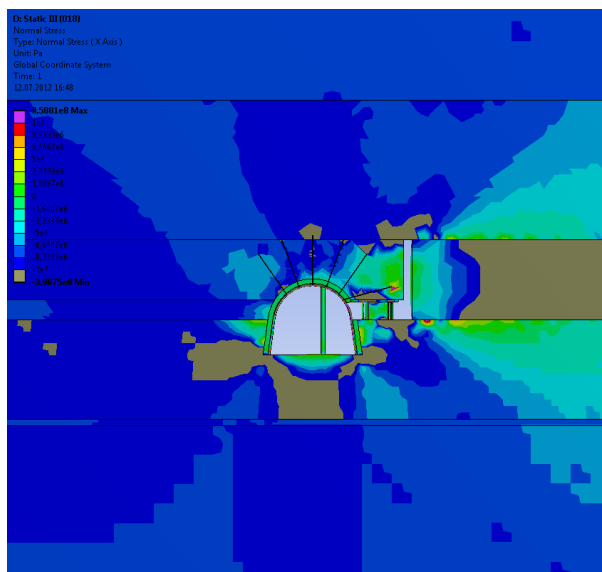


Рис. 9.4. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z во вмещающем выработку породном массиве на участке стабилизации проявлений горного давления ($t = 1$ мес.)

В зоне стабилизации проявлений горного давления (см. рис. 9.4) отмеченные особенности поля σ_z не меняются в качественном плане, а в количественном происходит усиление аномалий σ_z разной интенсивности. Так, области действия пониженных сжимающих и небольших растягивающих σ_z

меняются незначительно; в основном происходит рост растягивающих σ_z до 4 – 10 МПа. Более существенно увеличиваются области концентраций сжимающих $\sigma_z = 20 – 50$ МПа, особенно, в почве выработки и рядом расположенных боковых областях, что и является главной тенденцией изменения поля σ_z в процессе отхода лавы.

9.2.3. АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

В заключительной части анализа НДС близлежащего массива после прохода первой лавы рассмотрено изменение поля приведенных напряжений σ от участка начала работы охранной системы (рис. 9.5) до участка стабилизации проявлений горного давления (рис. 9.6).

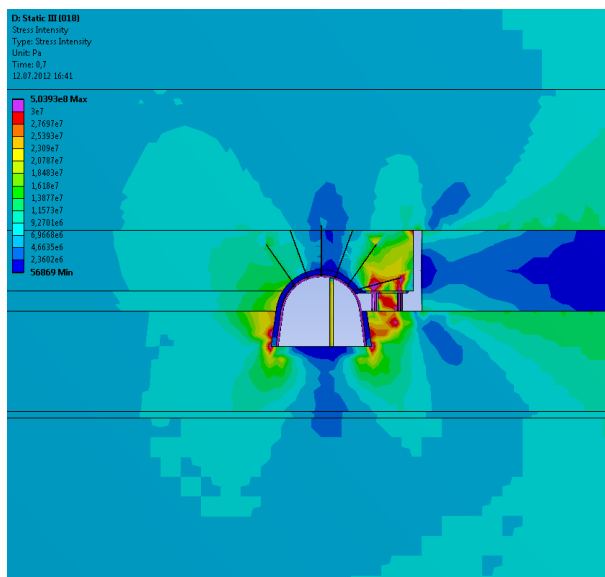


Рис. 9.5. Эпюра приведенных напряжений σ во вмещающем выработку породном массиве в начальный период сопротивления охранной системы ($t = 2$ сут.)

После возведения охранной системы она, как более жесткий элемент, начинает воспринимать повышенную нагрузку со стороны опускающихся породных слоев кровли и передавать ее на берму выработки с формированием соответствующих концентраций σ (см. рис. 9.5) в основном в породах непосредственной кровли и почвы. В непосредственной кровле над охран-

ной системой (в начальный период нарастания ее сопротивления) концентрации разрушающих напряжений $\sigma = 30 - 80$ МПа действуют только в локальных областях над более жесткими рядами деревянных стоек – эти очаги σ_{max} пока не представляют существенной опасности, так как за их пределами величина $\sigma = 18 - 23$ МПа еще не превысила сопротивление породы сжатию. Но, в перспективе усиления проявлений горного давления (или действия ослабляющих породу факторов) именно с указанных областей начинается разрушение непосредственной кровли с развитием повышенных вертикальных нагрузок на крепежную систему. Механизм протекания этого процесса обусловлен увеличением податливости разупрочненного объема пород над охранной системой, – следовательно, опускающиеся слои основной кровли будут преимущественно нагружать крепежную систему. Поэтому важно ограничить объемы разупрочнения непосредственной кровли над ближней к выработке частью охранной системы, а основную нагрузку перенести в глубь выработанного пространства. То есть, мы приходим к известным эффективным техническим решениям о возведении охранной системы переменной по ширине жесткости.

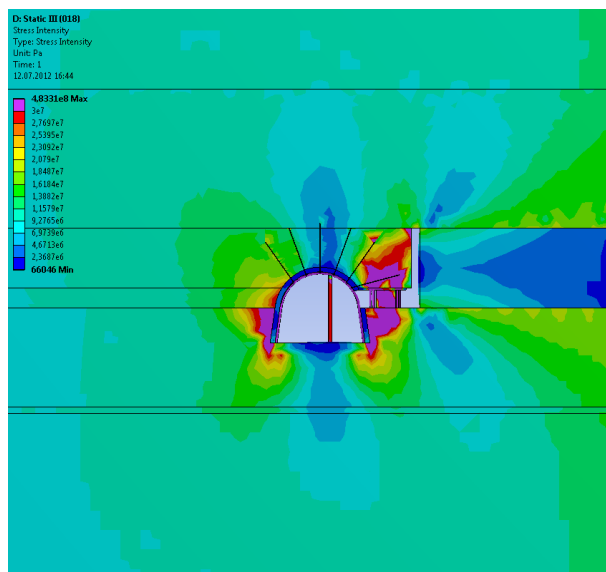


Рис. 9.6. Эпюра приведенных напряжений σ во вмещающем выработку породном массиве на участке стабилизации проявлений горного давления ($t = 1$ мес.)

Аналогичные процессы происходят в породах непосредственной почвы под охранной системой. Здесь концентрации $\sigma = 30 - 50$ МПа пока имеют

еще более ограниченное распространение, но возникает ряд очагов в районе стоек рам, которые впоследствии сформируют повышенную боковую нагрузку. То есть, целесообразно разгрузить приконтурные породы бермы опять-таки с помощью введения переменной жесткости в конструкцию охранной системы.

Со стороны нетронутого массива локальные области опасных концентраций образуются только в приконтурных породах непосредственной почвы по высоте ее подрывки. И здесь существует перспектива роста боковой нагрузки на стойки рамной крепи.

Указанные предположения подтверждаются расчетом поля σ в близлежащем массиве на участке стабилизации проявлений горного давления после прохода лавы (см. рис. 9.6). Действительно, происходит расширение зон опорного давления с увеличением концентраций σ уровня 30 – 49 МПа. Так, со стороны нетронутого массива отмеченная концентрация σ распространяется по всей высоте подрывки почвы и ниже опор стоек рамы и в бока на расстояние до 0,8 – 1,0 м. Здесь однозначно будет происходить разрушение даже необводненной породы с образованием повышенной боковой нагрузки на стойки рамной крепи. В породах непосредственной кровли и почвы в районе размещения охранной системы указанные выше разрушающие концентрации σ многократно расширяют область своего действия. Например, в кровле ширина зоны разупрочнения достигает 2,0 – 2,2 м, а высота – 1,2 – 1,4 м; разупрочненная порода частично «обыгрывает» охранную систему, проникая в имеющиеся полости и пустоты; реакция на породные слои основной кровли снижается и при их опускании усиливается горное давление на крепежную систему. В породах непосредственной почвы по всей высоте бермы на ширину до 1,8 – 2,0 м происходит ее разрушение с перемещением в полость выработки и деформированием стоек рам, которые необходимо усиливать, создавая дополнительные точки опоры с помощью боковых анкеров, соединенных со стойками рамы гибкими стяжками.

В целом, подводя итоги анализа НДС близлежащего массива после прохода лавы, сформулированы следующие выводы:

- наибольшую опасность для устойчивости выемочной выработки представляют зоны опорного давления в ее боках, где прогнозируются разупрочнение существенных породных объемов;

- со стороны нетронутого массива разупрочнение развивается до 0,8 – 1,0 м; поэтому здесь целесообразна установка не менее двух анкеров длиной до 2 м по высоте подрывки пород почвы;

- со стороны выработанного пространства породы непосредственной кровли разупрочняются на ширину до 2,0 – 2,2 м; здесь рекомендуется установка еще одного дополнительного анкера длиной 2,8 м;

- берма выработки разупрочняется на ширину до 1,8 – 2,0 м и здесь целесообразна установка двух анкеров длиной 2,8 м;

- для ограничения вертикального горного давления и повышения устойчивости бермы рекомендуется применение охранной системы с переменной

по ширине жесткостью, возрастающей по мере удаления от охраняемой выемочной выработки.

9.3. НДС КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ

Для детального анализа НДС крепежной и охранной систем был изменен как геометрический, так и силовой масштабы эпюр полей исследуемых компонент напряжений.

На рис. 9.7 и 9.8 показано распределение вертикальных напряжений σ_y для двух моментов состояния крепежной и охранной систем: через двое суток после прохода лавы в период нарастания сопротивления возведенной охранной конструкции; через месяц после прохода лавы, когда сечение выработки находится в зоне стабилизации проявлений горного давления. Прежде всего, следует отметить преемственность и непрерывность изменения состояния элементов поддержания выемочной выработки впереди и позади очистного забоя. С этих позиций выполнен анализ поля распределения напряжений в крепежной и охранной системах.

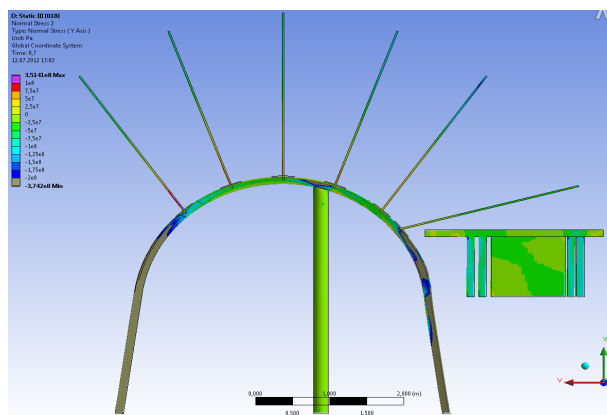


Рис. 9.7. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежной и охранной системах через двое суток после прохода лавы

9.3.1. АНАЛИЗ ВЕРТИКАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Верхняя рама, как и впереди лавы, находится в относительно разгруженном состоянии (см. рис. 9.7) с плавным увеличением σ_y от небольших растягивающих значений (до 25 МПа) в замке свода до сжимающих $\sigma_y = 100 -$

150 МПа в районе замков податливости. Исключение составляет локальная область в районе контакта верхняка рамы со стойкой крепи усиления, где контактные напряжения увеличиваются до 200 – 300 МПа и могут провоцировать пластические деформации верхняка.

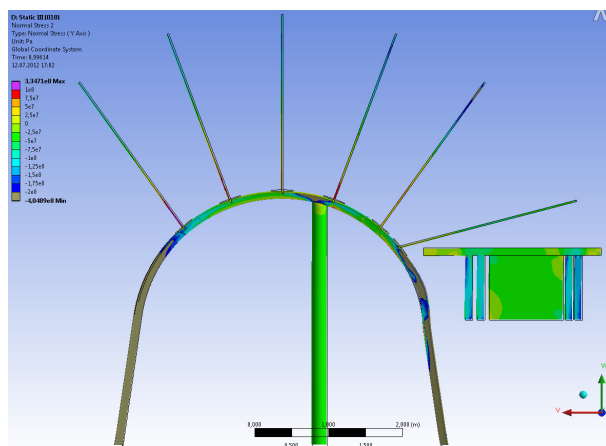


Рис. 9.8. Эпюра вертикальных напряжений σ_y в крепежной и охранной системах в зоне стабилизации проявлений горного давления ($t = 1$ мес.)

Стойки рамной крепи находятся в предельном или близком к нему состоянии (по фактору компоненты σ_y), так как практически по всей их длине $\sigma_y \geq 200 - 250$ МПа. Некоторые аномалии σ_y в стойке со стороны выработанного пространства указывают на ее активный изгиб в полость выработки на трех участках по высоте: 1,1 – 1,4 м; 1,7 – 1,9 м; 2,4 – 2,8 м, причем последний характеризуется наиболее интенсивным изгибом и размещенный здесь дополнительный анкер оказался весьма полезным. Одно его упрочняющее действие на приконтурные породы достаточно позитивно, а если связать дополнительные анкера гибкими стяжками со стойкой, то устойчивость данного участка крепи резко повысится.

Стойка крепи усиления подвержена сжимающим $\sigma_y = 25...50$ МПа и, хотя этот интервал близок к сопротивлению сжатию сосны вдоль волокон, в случае наступления ее предельного состояния процесс смятия древесины разгружает стойку и частично сохраняет ее устойчивость.

Анкера в системе опорно-анкерного крепления активно сопротивляются расслоению кровли на 50 – 60% своей длины. Наиболее нагруженными являются концевые участки длиной 0,4 – 0,5 м периферийных анкеров со сто-

роны нетронутого массива, где растягивающие σ_y в арматуре достигают 60 – 85% от предела текучести ее стали.

В охранной системе наиболее нагруженными являются стойки обрезной крепи, где $\sigma_y = 50 - 110$ МПа на некоторых участках в два и более раз превышают сопротивление сосны сжатию, что обусловлено их повышенной жесткостью. Разрушение обрезной крепи и других деревянных стоек предотвращают три фактора:

- вдавливание стоек в породы почвы и кровли;
- некоторая податливость за счет смятия древесины;
- нарастание сопротивления накатного костра.

Сам накатный костер находится в относительно разгруженном состоянии ($\sigma_y \leq 25 - 30$ МПа), так как процесс опускания пород кровли и уплотнения обрушенного массива в выработанном пространстве только развивается.

На участке стабилизации проявлений горного давления наблюдаются такие изменения поля вертикальных напряжений в крепежной и охранной системах выемочной выработки (см. рис. 9.8):

– в верхняке рамы существенных изменений не происходит – увеличение возмущений σ_y по абсолютной величине не превышает 10 – 15%;

– в стойке рамы со стороны выработанного пространства усиливается прогиб на всех вышеуказанных участках;

– в анкерах увеличивается растягивающие σ_y , особенно ближе к контуру выработки, где в крайнем периферийном анкере (со стороны нетронутого массива) уже появляются локальные области пластического состояния; в целом рост σ_y на 20 – 40% указывает на развитие процесса расслоения кровли, обусловленного, в первую очередь, ползучестью деформаций массива в течение длительного периода его нагружения;

– в стойке крепи усиления сжимающие σ_y увеличиваются до 20 – 30%, что также объясняется ползучестью деформаций и расслоением пород кровли;

– возрастают σ_y до 20 – 30% в деревянных стойках охранной системы и до 80 – 100% в брусках накатного костра, вызывая их смятие; это еще раз подтверждает развитие длительных, не затухающих реологических процессов на значительном расстоянии позади лавы.

В целом, по фактору действия компоненты σ_y наибольшую опасность устойчивости крепежной системы несут стойки рамы, особенно, со стороны выработанного пространства, которые нуждаются в усилении боковыми анкерами с пространственно-податливыми связями. Для избежания перегиба верхняка и изгиба деревянной стойки ей необходимо задать податливый режим работы, например, с помощью деревянных прокладок, устанавливаемых под верхняк рамы, или заменить на металлические податливые стойки. Охранная система достаточно устойчива за счет смятия древесины

и вдавливания в породы почвы и кровли, хотя при этом уменьшается ее высота и, соответственно, высота охраняемой выработки.

9.3.2. АНАЛИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

Далее проанализировано распределение горизонтальных напряжений σ_z в крепежной и охранной системах на двух участках проявления горного давления в выемочной выработке, эпюры приведены на рис. 9.9 и 9.10. После прохода лавы и возведения охранной системы (см. рис. 9.9) особенности распределения компоненты σ_z во многом схожи с участком опорного давления впереди лавы, что подтверждает преемственность развития НДС геомеханических моделей разных участков выемочной выработки. Общая тенденция усиления аномалий поля σ_z наблюдается в рамной крепи. Верхняя рама достаточно равномерно нагружена сжимающими $\sigma_z = 80 - 220$ МПа на участке со стороны нетронутого массива до стойки крепи усиления. Здесь интенсивных изгибных деформаций не наблюдается, а сама величина σ_z указывает на повышенную боковую нагрузку на раму со стороны боковых пород. Начиная от стойки крепи усиления в сторону выработанного пространства верхняя рама подвержена интенсивным знакопеременным напряжениям σ_z , характеризующим его активный изгиб преимущественно в полость выработки. Следует отметить, что в некоторых локальных областях в верхней раме могут возникнуть пластические деформации как от сжимающих, так и от растягивающих напряжений σ_z . Прямолинейные части стоек рамы разгружены от действия горизонтальных напряжений за исключением опор, где $\sigma_z = 30 - 100$ МПа. В криволинейной части стойки рамы со стороны выработанного пространства располагаются две области растягивающих σ_z , где в совокупности с концентрацией сжимающих σ_y прогнозируется появление пластического состояния.

Стойка крепи усиления также находится в разгруженном состоянии – действуют знакопеременные $\sigma_z = 5 - 10$ МПа.

Среди анкеров наиболее нагруженными являются крайние анкера, где растягивающие σ_z достигают предела текучести арматуры, что обусловлено их максимальным наклоном к горизонтальной оси Z . В этом плане особенно выделяется дополнительный анкер (со стороны выработанного пространства), где высокие растягивающие σ_z действуют по подавляющей части его длины.

Охранная система находится в преимущественно разгруженном состоянии с появлением локальных участков растягивающих σ_z (до 10 МПа) и сжимающих σ_z (до 20 – 30 МПа).

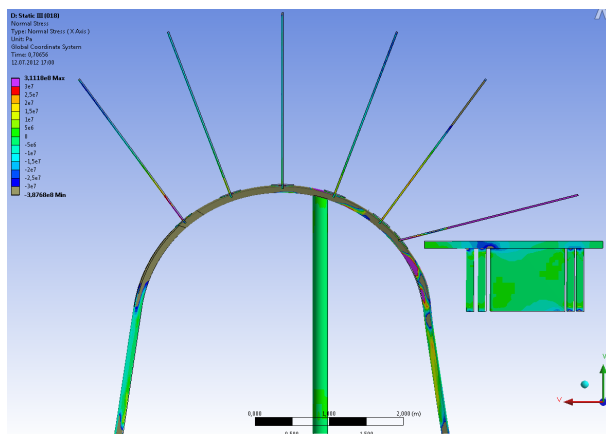


Рис. 9.9. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в крепежной и охранной системах через двое суток после прохода лавы

На участке стабилизации проявлений горного давления после прохода лавы (см. рис. 9.10) наблюдается некоторое (большой частью малосущественное) усиление аномалий поля σ_z :

- в рамной крепи концентрации σ_z возрастают до 10%;
- в стойке крепи усиления поле σ_z остается практически неизменным;
- в анкерной крепи увеличивается до 20% длины участков растягивающих σ_z , что характеризует развитие процессах расслоения непосредственной кровли;
- в охранной системе увеличение сжимающих σ_z до 30 – 40 МПа происходит только в локальных областях контакта стоек с породами почвы и брусьями перекрытия кровли.

В целом необходимо отметить, что реологические процессы в породном массиве вокруг выработки после прохода лавы не столь заметно сказываются на изменении поля горизонтальных напряжений σ_z в крепежной и охранной системах.

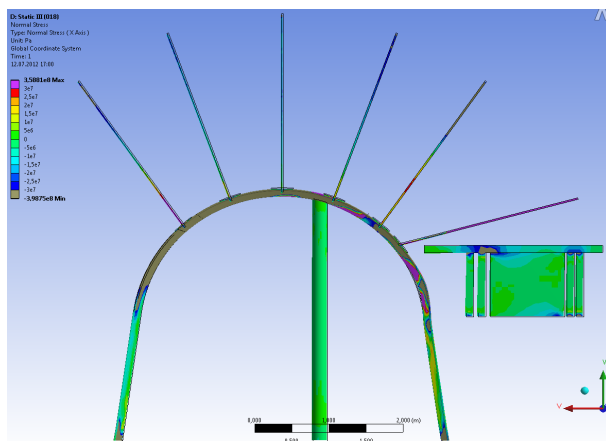


Рис. 9.10. Эпюра горизонтальных напряжений σ_z в крепежной и охранной системах в зоне стабилизации проявлений горного давления ($t = 1$ мес.)

9.3.3. АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ КОМПОНЕНТ НАПРЯЖЕНИЙ

После прохода лавы и возведения охранной системы поле распределения приведенных напряжений отчасти меняется (рис. 9.11) по сравнению с участком опорного давления впереди лавы с сохранением достаточного количества общих черт. Так, верхняя рама остается наименее нагруженным с образованием пластического контакта со стойкой крепи усиления. Относительная равномерность распределения σ в стойках рамы (хотя и на уровне их пластического состояния) нарушается появлением деформаций изгиба:

- со стороны нетронутого массива изгиб стоек рамы менее интенсивен и направлен в полость выработки в центральной части, а в опоре стойки – в сторону массива;

- со стороны выработанного пространства происходит более активный изгиб стойки рамы с регулярным изменением знака кривизны: в полость выработки на уровне извлеченного угольного пласта; в сторону массива по высоте бермы и в районе опоры стойки.

Напряжения σ в стойке крепи усиления достаточно равномерны и остаются на прежнем уровне ($\sigma = 20 - 40$ МПа) по сравнению с зоной опорного давления впереди лавы.

Среди анкеров наиболее загруженным является дополнительный анкер, устанавливаемый в кровлю над охранной конструкцией; в его арматуре приведенные напряжения превышают предел текучести σ_T стали на срединном участке длины, а на заглубленном участке приближаются или равны σ_T . Это

объясняется высокой интенсивностью напряжений и перемещений в области опорного давления над охранной конструкцией. В данной области, очевидно, следует усилить упрочняющий эффект, например, путем установки двух дополнительных анкеров между рамами длиной не менее 2,8 м и под углом 30 – 40°.

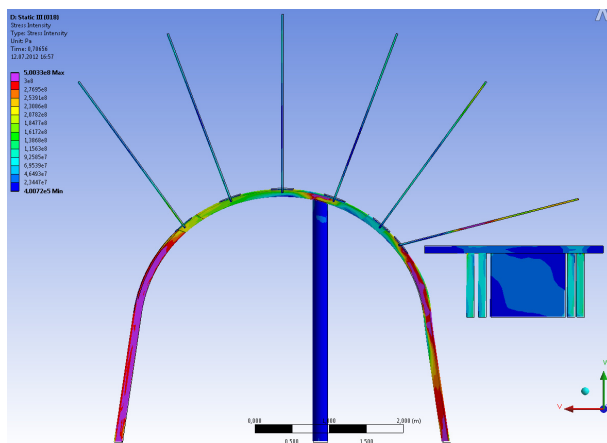


Рис. 9.11. Эпюра приведенных напряжений σ в крепежной и охранной системах через двое суток после прохода лавы

Остальные анкера находятся в упругом состоянии, но, опять-таки, наиболее нагруженными являются периферийные, где на заглубленном и ближних к выработке их участках величина σ приближается к пределу текучести стали арматуры. Такая особенность распределения σ по длине анкеров соответствует сложившимся представлениям о механизме работы сталеполномерных анкеров и указывает на процесс их смещения в полость выработки совместно с упрочняемыми породами кровли, которые расслаиваются более интенсивно в приконтурной части выработки и менее интенсивно – в заглубленной части длины анкеров. Также следует, что активные смещения пород кровли выходят за пределы длины анкеров в 2,4 м: состояние кровли со стороны лавы (особенно, над охранной конструкцией) требует не только более густой сетки армирования, но и его более глубокого распространения.

Один из вариантов технологического решения данной проблемы – установка канатных анкеров, которые одновременно могут выполнять две функции. *Во-первых*, за счет своей длины до 6 м канатные анкера производят более глубокое упрочнение пород кровли, ограничивая ее расслоение. Так, если разместить два канатных анкера (с шагом $L = 1,6 - 2,0$ м, то есть, через две рамы по длине выработки) в поперечном сечении симметрично по 0,8 – 1,0 м от вертикальной оси выработки под углом 70 – 80° к горизонтали,

то они упрочняют объем кровли на ширину до 7,5 – 8,0 м. Данной ширины зоны упрочнения недостаточно для полного перекрытия области опорного давления над охранной конструкцией, но повышенная устойчивость породных консолей этого и не требует по причине ограничения размеров зоны предельного состояния. *Во-вторых*, канатные анкера могут быть использованы для создания дополнительных опор верхнякам рам на участках как впереди, так и позади лавы, что позволит отказаться от установки стоек крепи усиления, особенно, в районе сопряжения, когда осуществляется демонтаж-монтаж стоек рамной крепи для передвижки приводной головки забойного конвейера.

В охранной конструкции в достаточно устойчивом состоянии при небольшом смятии древесины находится только накатный костер и брусья перекрытия. Все деревянные стойки испытывают напряжения σ , в 1,5 – 3 раза превышающие их сопротивление сжатию. По этой причине они активно деформируются, а процесс вдавливания в породы почвы и кровли определенным образом предохраняет стойки от полного разрушения. В плане совершенствования охранной конструкции следует отметить:

- два ряда обрезной органной крепи необходимы, но их целесообразно отчасти разгрузить за счет возведения более жесткой опорной части охранной конструкции, например, литой полосы;

- деревянные стойки в районе бермы со стороны выработки также нуждаются в некоторой разгрузке (чтобы снизить вероятность скола пород бермы), которую частично осуществляют канатные анкера, а частично податливый элемент охранной конструкции, возводимый между стойками и литой полосой.

При дальнейшей эксплуатации выработки в зоне стабилизации проявлений горного давления наблюдается ряд изменений в поле приведенных напряжений σ (см. рис. 9.12) с общей тенденцией некоторого усиления нагруженности крепежной и охранной систем. Это касается следующих грузонесущих элементов. В стойке рамы со стороны выработанного пространства на высоте до 0,7 м от почвы увеличиваются до 10 –15% напряжения σ и соответствующие размеры области однозначных пластических деформаций ($\sigma \geq 300$ МПа). Наиболее существенно растет нагрузка на стойку крепи усиления, которая практически по всему своему объему находится в предельном или близком к нему состояниях. Также значительно увеличиваются σ в двух периферийных анкерах опорно-анкерной системы и, особенно в дополнительном анкере со стороны выработанного пространства. Это еще раз подчеркивает целесообразность усиленного упрочнения объема пород кровли над охранной системой, подвижки которого происходят достаточно длительный период. На это указывает также рост нагрузки во всех элементах охранной конструкции:

- в накатанном костре напряжения σ практически по всему объему близки или равны сопротивлению сосны сжатию, а в угловых частях заметно превышают его; однако, за счет смятия древесины, низкого отношения вы-

соты костра к остальным его размерам (меньше единицы), вдавливания в породы почвы и кровли накатный костер продолжает выполнять функции опорной части охранной системы, но при этом уменьшается ее высота и, как следствие, – высота выемочной выработки;

– во всех деревянных стойках и без того высокие напряжения σ увеличиваются на 10 – 20% и способны их разрушить, несмотря на действие других факторов.

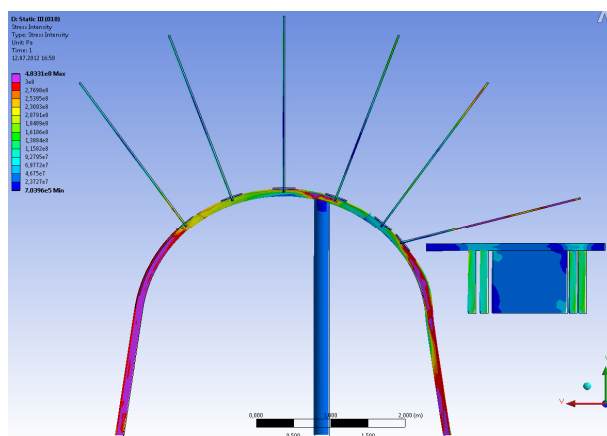


Рис. 9.12. Эпюра приведенных напряжений σ в крепежной и охранной системах в зоне стабилизации проявлений горного давления ($t = 1$ мес.)

Таким образом, установлена тенденция длительного развития опускания пород кровли со стороны выработанного пространства, следствием которой является рост нагруженности охранной системы, пород бермы и стоек рамы, а также стоек крепи усиления и анкеров со стороны выработанного пространства. Остальные грузонесущие элементы крепежной системы (центральные анкера в своде, верхняк рамы и ее стойка со стороны нетронутого массива) практически не меняют свое напряженное состояние спустя месяц после прохода лавы.

ВЫВОДЫ

В целом, по результатам исследований эффективности применяемой охранной и крепежной систем установлены следующие выводы:

1. Наибольшую опасность для устойчивости выемочной выработки представляет область опорного давления со стороны выработанного простран-

ства; здесь прогнозируется разупрочнение обширных породных объемов кровли на ширину до 2,0 – 2,2 м и почвы до 1,8 – 2,0 м; на протяжении длительного периода времени после прохода лавы развивается процесс расслоения кровли и перемещения пород бермы выработки, обусловленный, в первую очередь, ползучестью деформаций приконтурного массива.

2. По фактору действия вертикальных напряжений σ_y , наибольшую опасность устойчивости крепежной системе несут стойки рамы, особенно, со стороны выработанного пространства, которые нуждаются в усилении боковыми анкерами с пространственно-податливыми связями; для предотвращения перегиба верхняка и изгиба стойки крепи усиления ей необходимо задать конструктивно податливый режим работы; охранная система достаточно устойчива за счет смятия древесины и вдавливания в породы почвы и кровли, хотя при этом уменьшается ее высота и, соответственно, высота охраняемой выработки.

3. Относительно горизонтальных напряжений σ_x следует указать на преимущественно малосущественное их изменение под воздействием значительных реологических процессов, а исключением является дополнительный анкер, арматура которого по большей части своей длины находится под действием все увеличивающихся растягивающих σ_x , что указывает на развитие сдвижений кровли со стороны лавы даже спустя месяц после ее прохода.

4. Развитие поля приведенных напряжений σ по мере отхода лавы более активно проявляются со стороны выработанного пространства в таких грузонесущих элементах как стойка рамы (в районе опоры), периферийный и дополнительный анкера, стойка крепи усиления и охранная конструкция; данный факт лишней раз подчеркивает необходимость повышения устойчивости приконтурных пород крепежной и охранной системами выработки со стороны действующего выемочного участка.

10. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

10.1. РАЗДЕЛЕНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПО СТЕПЕНИ СЛОЖНОСТИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

Все многообразие крепежных и охранных систем в той или иной степени подчинено учету особенностей проявлений горного давления в конкретных горно-геологических условиях. В этом плане при анализе схем поддержания повторно используемых выемочных выработок была дана предварительная оценка их соответствия горно-геологическим условиям эксплуатации выработок и проведено начальное группирование условий по степени сложности применения различных крепежных и охранных систем. В первую очередь выделено три группы условий по структуре, свойствам и состоянию пород надугольной толщи на среднестатистическую высоту зоны шарнирно-блокового сдвигения пород над выработанным пространством (15 – 20 вынимаемых мощностей пласта).

Группа I: преимущественно тонкослоистая структура слабых пород ($f < 1,5$); слои аргиллита и алевролита мощностью более 1,0 м со средним расстоянием между поверхностями ослабления до 1,0 м; слои аргиллита и алевролита ($f = 1,5 - 2,5$) средней мощности, периодически разделенные обводненными угольными пропластками мощностью 0,1 – 0,3 м.

Группа II: тонко- и среднеслоистая структура необводненных пород с коэффициентом крепости аргиллита и алевролита $f = 1,5 - 2,5$; средне – и крупнослоистая структура обводненных пород ($f > 1,5$) при залегании песчаника мощностью до 3,0 м.

Группа III: средне – и крупнослоистая структура обводненных пород ($f > 2,5$) при залегании песчаника мощностью более 3,0 м; средне – и крупнослоистая структура необводненных пород ($f > 2,5$).

Первая группа условий является наиболее неблагоприятной с точки зрения устойчивости выработки и сложности ее повторного использования. Здесь развиваются наиболее обширные зоны расслоения и разупрочнения пород кровли, которые формируют высокую нагрузку прежде всего на крепежную систему; рост нагрузки на охранную систему ограничивается благодаря легкообрушаемой кровле, не допускающей образования сколь-нибудь протяженных нависающих породных консолей со стороны выработанного пространства. Поэтому границу целесообразности повторного использования выемочных выработок очерчивает первая группа горно-геологических условий, а ее конкретизируют параметры проявлений горного давления не-

посредственно в выработке и устойчивость, главным образом, крепежной системы. Принятие решения о повторном использовании выработки базируется на следующих позициях.

Первая позиция – размеры свода неустойчивых пород не должны превышать глубину анкерования за вычетом требуемой длины (1,0 – 1,1 м) закрепления канатных анкеров в устойчивых породах. Расчет выполняется для участка выработки, находящегося в зоне опорного давления впереди первой лавы, где активизируется процесс сдвижения надугольной толщи и ему препятствуют канатные анкера, установленные еще в период проведения выработки. Если первая позиция не осуществима, то канатные анкера выполняют лишь упрочняющие функцию по ограничению расслоения кровли, но не участвуют в полной мере в ее удержании от обрушения над выработкой. Тогда весь объем пород кровли создаст нагрузку на рамную крепь, опорно-анкерное крепление и крепь усиления.

Вторая позиция – составляющие крепежной системы (перечисленные выше) должны обеспечить суммарную реакцию сопротивления, превышающую вес пород в своде предельного равновесия, формирующегося в период ее повторного использования. Здесь наиболее ответственным периодом является проход лавы; для этого участка выполняется расчет нагрузки в соответствии с СОУ 10.1.00185790.011:2007. Аналогичный расчет нагрузки на крепежную систему выполняется и для участка выработки в зоне опорного давления впереди лавы с соответствующим выбором средств крепления. Это необходимо для проведения сравнительной оценки варианта повторного использования выработки с вариантом ее погашения и проведения новой для отработки смежного выемочного участка.

Третья позиция – охранная система не должна провоцировать разрушение пород бермы и увеличение интенсивности пучения почвы выработки. Здесь выбираются параметры опорной части охранной системы, обеспечивающей устойчивость бермы.

Четвертая позиция – прогнозируется расчетом величина пучения почвы за период поддержания выработки на всех характерных участках проявления горного давления по ее длине, определяются объемы работ по подрывке почвы.

Пятая позиция – оцениваются суммарные затраты на повторное поддержание выемочной выработки и принимается решение о целесообразности ее повторного использования.

10.2. СХЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ПО ГРУППАМ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

При повторном использовании выемочных выработок рекомендуются следующие конструктивные решения по созданию схем их крепления и ох-

раны в зависимости от группы условий строения, свойств и состояния пород надугольной толщи с учетом накопленного опыта поддержания выработок на шахтах Западного Донбасса.

Группа I. В крепежную систему включены канатные анкера с канатными подхватами, опорно-анкерное крепление, рамно-анкерная крепь, центральные и боковые стойки крепи усиления (рис. 10.1 – 10.3).

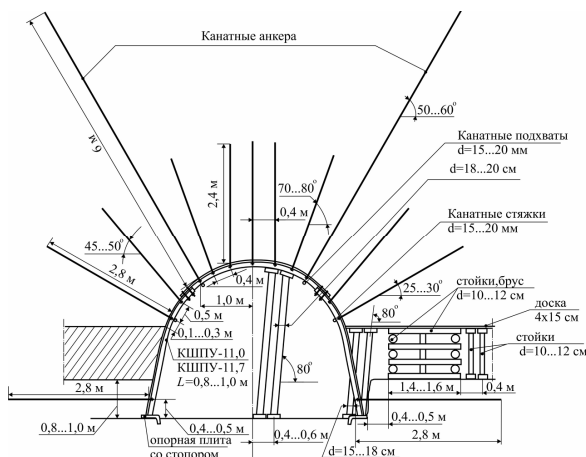


Рис. 10.1. Схема поддержания выработки при возведении охранной системы из лесоматериалов

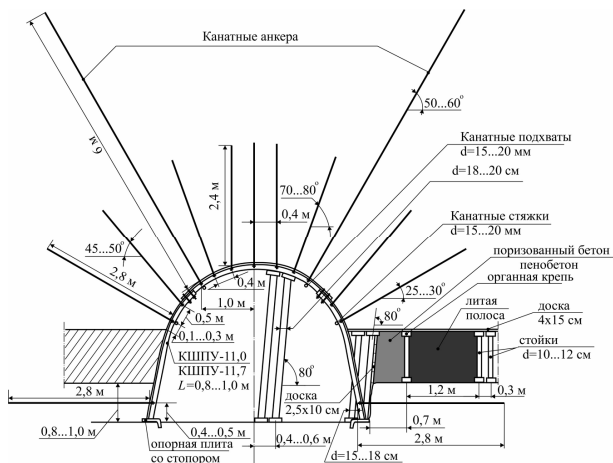


Рис. 10.2. Схема поддержания выработки при возведении охранной системы с применением твердеющих материалов

Канатные анкера длиной не менее 6 м устанавливаются (с шагом 1,6 м) симметрично относительно вертикальной оси выработки на расстоянии 1,0 м под углом 50 – 60°. Это обеспечивает закрепление замковой части анкеров за пределами свода обрушения над выработкой. За счет разницы перемещения пород кровли внутри свода и за его пределами происходит удержание части объема неустойчивых пород с ограничением опускания кровли и перераспределением этой нагрузки на охранную систему. Благодаря соединению хвостовиков канатных анкеров с продольными канатными (или из мерных отрезков СВП) подхватами осуществляется удержание верхняков при демонтаже и монтаже стоек рам в районе сопряжения с лавой.

Опорно-анкерное крепление для создания грузонесущей армопородной плиты (арки) в условиях тонкослоистых слабых пород рекомендуется возводить из 9 анкеров с такими параметрами установки:

- в замке свода располагаются симметрично три вертикальных сталеполномерных анкера длиной 2,4 м на участке шириной 0,8 м; они призваны ограничить расслоение кровли и предотвратить разлом породных плит в центральной части свода;

- в боковых частях свода устанавливаются по два анкера длиной 2,4 м на расстоянии от вертикальной оси 0,8 – 0,9 м и углом наклона 70 – 80° и 45 – 60° соответственно; они призваны сформировать целостные периферийные участки армопородной грузонесущей арки, которая передает часть нагрузки в кровле выработки на охранную систему и угольный пласт в ее бортах;

- крайние анкера длиной 2,8 м устанавливаются на расстоянии 0,1 – 0,3 м от угольного пласта в кровлю под углом 25 – 30° и предназначены для ограничения разломов в непосредственной кровле над охранной системой и более равномерного нагружения последней.

Рамно-анкерная крепь (с шагом 0,8 м) рекомендуется с податливой связью (посредством канатных стяжек) стоек рам боковыми анкерами, установленными в непосредственной кровле на высоте 0,1 – 0,3 м от угольного пласта и нижними боковыми анкерами длиной 2,8 м, установленными примерно посредине высоты подрывки почвы. Функции дополнительной опоры стойки рамы в боковом направлении передаются опорной плите со стопором (противодействующим горизонтальному перемещению), например, конструкций [1].

В качестве крепи усиления рекомендуется установка металлических податливых стоек или сдвоенных центральных деревянных стоек диаметром 18 – 20 см, смещенных от оси выработки на 0,4 – 0,6 м в сторону выработанного пространства для противодействия ассиметричной нагрузке. Стойки рекомендуется устанавливать под углом 70 – 80°, что обеспечивает более устойчивый контакт с криволинейной поверхностью верхняка рамы и ограничит их изгиб по причине соответствия продольной оси стоек вектору полных перемещений пород кровли в районе их установки.

В охранную систему выработок группы I включены следующие элементы.

Боковые сдвоенные деревянные стойки крепи усиления диаметром 18 – 20 см устанавливаются на границе с бермой и поддерживают непо-

средственную кровлю пласта на контуре выработки. Они размещаются с шагом 0,8 м и предназначены для поддержания непосредственной кровли и нижележащих слоев основной кровли вблизи контура выработки, что снижает нагрузку на крепежную систему и передает ее на охранную систему.

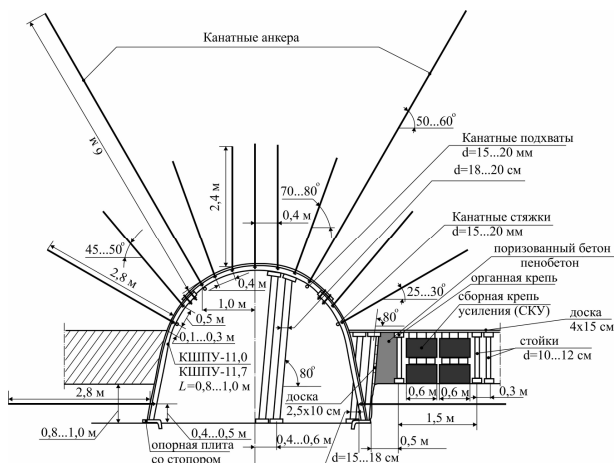


Рис. 10.3. Схема поддержания выработки при возведении комбинированной охранной системы с применением твердеющих материалов и сборной крепи усиления

Опорная часть охранной системы ввиду слабых и зачастую обводненных пород почвы пласта должна передавать пониженную и относительно равномерную нагрузку. Для этого опорная часть возводится из двух рядов накатного костра общей шириной не менее 1,2 м. Ширина опорной части увеличивается в весьма слабых или обводненных породах почвы и рекомендуется в пределах 1,2 – 2,0 м.

Обрезная крепь из двух рядов деревянных стоек диаметром 10 – 12 см выполняет две функции: опалубка при возведении опорной части охранной полосы для обрушения вышележащих слоев основной кровли, что обеспечивает снижение нагрузки на охранную систему.

Группа II. Составляющие крепежной системы остаются неизменными, но корректируются их параметры в связи с изменением горно-геологических условий поддержания повторно используемых выработок (рис. 10.4 и 10.5).

Канатные анкера длиной 6 м рекомендуется устанавливать с шагом 1,6 – 2,0 м под углом 70 – 80° для удержания большей части веса пород внутри свода предельного равновесия, а более ограниченные размеры последнего гарантируют закрепление замковой части анкеров за пределами свода. Координаты установки канатных анкеров и их связь с канатными прогонами остаются неизменными.

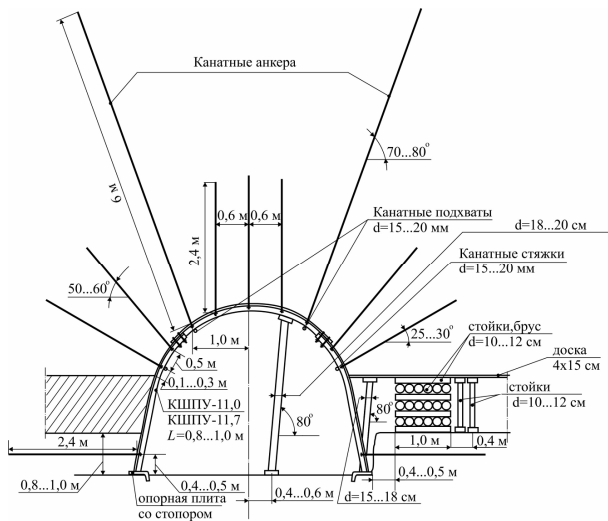


Рис. 10.4. Схема поддержания выработки при возведении охранной системы из лесоматериалов

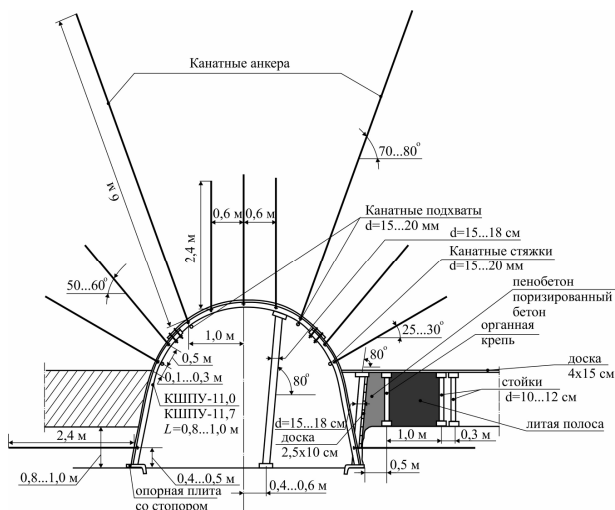


Рис. 10.5. Схема поддержания выработки при возведении охранной системы с применением твердеющих материалов

Опорно-анкерное крепление ввиду повышенной устойчивости кровли включает 7 анкеров со следующими параметрами установки:

- в замке свода располагаются три вертикальных анкера длиной 2,4 м на участке шириной 1,2 м;
- в боковых частях свода устанавливается по одному анкеру длиной 2,4 м на расстоянии от вертикальной оси 1,1 – 1,2 м под углом 50 – 60°;
- крайние анкера длиной 2,4 м устанавливаются в непосредственной кровле на расстоянии 0,1 – 0,3 м от угольного пласта под углом 25 – 30°.

Рамно-анкерная крепь возводится с шагом 0,8 – 1,0 м при монтаже гибкой связи стойки с боковыми анкерами. Под опору стойки рамы устанавливается подпятник со стопорным элементом, который препятствует горизонтальному перемещению стойки.

Крепь усиления представлена одним центральным рядом металлических податливых или деревянных стоек диаметром 18 – 20 см, смещенных относительно вертикальной оси на 0,4 – 0,6 м и установленных с наклоном 70 – 80° в сторону выработанного пространства.

Охранная система выработок для горнотехнических условий группы II имеет такое конструктивное решение.

Одинарный ряд боковых деревянных стоек усиления диаметром 15 – 18 см установлен на границе с бермой и выполняет функции поддержания пород непосредственной кровли, что частично разгружает крепежную систему выработки.

Опорная часть охранной конструкции шириной 1,0 м представлена литой полосой с сопротивлением сжатию 10 – 12 МПа, либо одним рядом накатного костра.

Обрезная крепь из двух рядов деревянных стоек диаметром 10 – 12 см провоцирует обрушение основной кровли и воспринимает концентрацию опорного давления от зависающих породных консолей средней протяженности.

Группа III. Благодаря более устойчивой кровле и относительно ограниченному размеру свода предельного равновесия для удержания неустойчивого объема пород отпадает необходимость в установке центральных стоек крепи усиления, а действующую нагрузку воспринимают остальные элементы крепежной системы (рис. 10.6 и 10.7).

Канатные анкера длиной 6 м устанавливаются под углом 70 – 80° на расстоянии 1,0 м от вертикальной оси и соединены по длине выработки канатными подхватами или жесткими прогонами из СВП, поддерживающими верхняк.

Опорно-анкерное крепление включает 5 анкеров длиной 2,4 м, размещенных в своде выработки по следующей схеме:

- в замке свода расположен один вертикальный анкер;
- в боковых частях свода установлено по одному анкеру с углом наклона 70 – 80° на расстоянии 0,8 м от оси выработки;
- крайние анкера установлены на высоте 0,3 – 0,5 м от угольного пласта с углом наклона 25 – 30°.

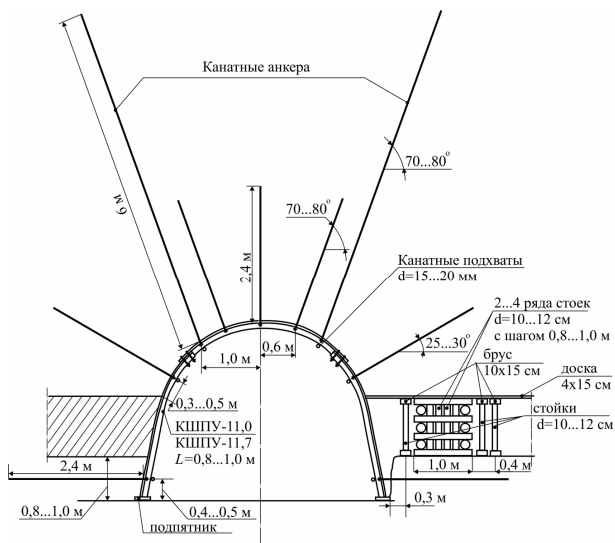


Рис. 10.6. Схема поддержания выработки при возведении охранной системы из лесоматериалов

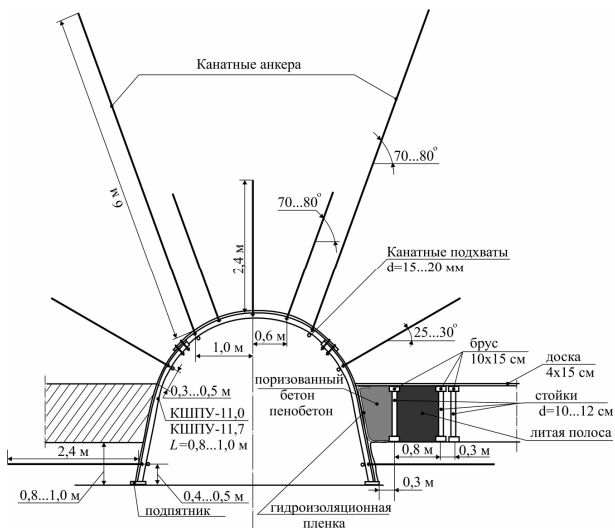


Рис. 10.7. Схема поддержания выработки при возведении охранной системы с применением твердеющих материалов

Рамно-анкерная крепь возводится с шагом 1,0 м и характеризуется канатной связью стоек с верхним и нижним (в берме выработки) боковыми анкерами. Под опоры стоек применяются обычные подпятники.

Охранная система выработки сформирована с учетом повышенной устойчивости пород кровли и почвы:

- на берме устанавливается вразбежку один ряд деревянных стоек (диаметром 10 – 12 см) на расстоянии 0,3 – 0,4 м от контура выработки; при возведении литой полосы этот ряд служит каркасом опалубки при обшивке стоек доской; продольные и поперечные брусья (размером 10 × 15 см) поверх стоек поддерживают кровлю на границе с выработкой;

- в качестве опорной части (в условиях более устойчивой почвы) рекомендуется литая полоса шириной 0,8 м с пределом прочности на сжатие 12 – 15 МПа или кустокостер шириной 1,0 м;

- для выполнения функций обрезной крепи в условиях зависания относительно протяженных породных консолей рекомендуется два ряда крепи из деревянных стоек диаметром 12 – 15 см.

11. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПОДДЕРЖАНИИ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ

11.1. СТРУКТУРА И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТА

11.1.1. Характеристики проявления горного давления являются исходными данными к расчету параметров крепежной и охранной систем, на основании которых производится обоснование схемы поддержания повторно используемой выемочной выработки.

11.1.2. К характеристикам проявления горного давления, подлежащим расчету, относятся:

- сближение кровли и почвы $U^{K,II}$;
- опускание кровли U^K ;
- поднятие почвы U^II ;
- сближение боков U^b ;
- высота свода h предельного равновесия (обрушения);
- ширина свода b предельного равновесия (обрушения);
- нагрузка P на крепежную систему;
- нагрузка Q_1 на обрезающую крепь;
- нагрузка Q_2 на опорную часть охранной системы;
- нагрузка Q_3 на боковые стойки крепи усиления, примыкающие к контуру бермы;
- длина $l_{o,d}$ участка опорного давления впереди лавы.

11.1.3. Расчет производится по всем участкам выемочной выработки, характеризующим этапы ее поддержания от периода проведения до момента погашения после прохода лавы:

- вне зоны влияния очистных работ;
- в зоне опорного давления впереди первого очистного забоя;
- позади лавы.

11.1.4. Расчет параметров проявления горного давления выполняется по отраслевым нормативным документам с использованием разработок ГВУЗ «НГУ» и других организаций с указанных в перечне ссылок.

11.1.5. Расчет производится в следующей последовательности:

- в соответствии с горно-геологическими условиями выбирается базовая схема поддержания выработки;
- определяются исходные геомеханические данные для выполнения расчета;
- прогнозируются перемещения породного контура выработки;
- определяется нагрузка на крепежную и охранную системы;

– рассчитываются параметры грузонесущих элементов крепежной и охранной систем, по которым разрабатывается окончательная схема поддержания повторно используемой выработки.

11.2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТА

11.2.1. Выбираются конструктивные параметры базовой схемы поддержания выработки согласно рекомендациям §10.2:

- типовое сечение выработки с соответствующим номером СВП рамной крепи;
- схема расположения сталеполимерных анкеров в кровле и боках выработки;
- схема расположения канатных анкеров;
- тип и ширина опорного элемента охранной системы;
- высота подрывки почвы выработки.

11.2.2. Базовым документом оценки геомеханических параметров углевмещающего массива является горно-геологический прогноз отработки выемочного участка, данные которого используются многофункционально.

По длине выемочного столба выбирается участок выработки с наименее устойчивыми вмещающими породами надугольной толщи по степени обводненности и сложности (среднее расстояние между поверхностями ослабления), интенсивности трещиноватости, количеству и мощности слоев песчаника. При нескольких, примерно равноценных участках, выбирается наиболее глубоко расположенный от дневной поверхности, для которого формируются данные по структуре пород кровли и почвы (расстояние от угольного пласта и мощность литологической разности) и их механическим характеристикам.

Оценивается структура пород надугольной толщи для установления мощности кровли, склонной к обрушению в выработанное пространство в виде породных блоков (зона шарнирно-блокового сдвижения). При этом учитывается производственный опыт уже отработанных смежных выемочных участков. Ориентировочную высоту $H_{ш.б}$ зоны шарнирно-блокового сдвижения (до границы с областью плавного опускания слоев без нарушения сплошности) определяется по формуле

$$H_{ш.б} = (15...20)m, \quad (11.1)$$

где m – вынимаемая мощность пласта.

Уточняется шаг посадки основной кровли $L_{о.к.}$ исходя из опыта отработки близрасположенных выемочных участков.

11.2.3. Определение расчетных значений сопротивления сжатию вмещающих выработку пород, участвующих в прогнозе параметров проявления горного давления.

Среднее значение R расчетного сопротивления сжатию близлежащего массива определяется по формуле

$$R = \frac{R^K + R^\Pi}{2}, \quad (11.2)$$

где R^K и R^Π – интегральные показатели сопротивления сжатию пород кровли и почвы; определяются по формуле

$$R^{K,\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^{K,\Pi} \cdot m_i^{K,\Pi} \cdot k_i^{K,\Pi}}{\sum_{i=1}^n m_i^{K,\Pi} \cdot k_i^{K,\Pi}}, \quad (11.3)$$

В формуле (11.3) введены обозначения:

$R_i^{K,\Pi}$ – расчетное сопротивление сжатию i -го породного слоя кровли или почвы; нумерация слоев начинается от угольного пласта;

$m_i^{K,\Pi}$ – мощность i -го породного слоя кровли или почвы пласта;

$k_i^{K,\Pi}$ – коэффициент влияния i -го породного слоя на интегральный показатель $R^{K,\Pi}$; определяется по формуле

$$k_i^{K,\Pi} = \exp\left[-\eta\left(l_i^{K,\Pi} - \frac{h_e}{2}\right)\right], \quad (11.4)$$

где η – эмпирический коэффициент; определяется по табл. 11.1;

$l_i^{K,\Pi}$ – расстояние от середины выработки в проходке до середины мощности i -го породного слоя;

h_e – высота выработки в проходке.

Таблица 11.1

**ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА η В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ УСЛОВИЙ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫРАБОТКИ**

Условия поддержания выработки	η
Вне зоны влияния очистных работ	0,5
В зоне опорного давления впереди первого очистного забоя	0,18
Позади первого очистного забоя	0,15

Влияние породных слоев на интегральные показатели $R^{K,\Pi}$ сопротивления сжатию необходимо учитывать на высоту в кровлю и глубину в почву не менее 20 м.

Расчетные значения R сопротивления сжатию любого породного слоя определяются с учетом действия ослабляющих факторов по формуле

$$R = \sigma_{сж} \cdot k_c \cdot k_w \cdot k_t, \quad (11.5)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на одноосное сжатие в образце;

k_c – коэффициент, учитывающий нарушенность пород поверхностями ослабления; определяется по табл. 11.2;

k_w – коэффициент, учитывающий разупрочнение обводненных пород; определяется по табл. 11.3;

k_t – коэффициент, учитывающий ослабление пород при длительном нагружении; определяется по формуле

$$k_t = \sqrt{0,2 + 0,33 \lg \sigma_{сж}}. \quad (11.6)$$

Таблица 11.2

**ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА k_c НАРУШЕННОСТИ
ПОРОД ПОВЕРХНОСТЯМИ ОСЛАБЛЕНИЯ**

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

Таблица 11.3

**ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА k_w 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

Упрочнение пород непосредственной кровли за счет применения опорно-анкерного крепления определяется по формуле

$$R_a = R \cdot k_a, \quad (11.7)$$

где k_a – коэффициент, учитывающий увеличение расчетного сопротивления породы сжатию при анкерном упрочнении, применяемом на шахтах Запад-

ного Донбасса.

Значения коэффициента k_a определяются по табл. 11.4 в зависимости от плотности $n_{нл}$ установки анкеров, рассчитываемой по формуле

$$n_{нл} = \frac{n_a}{B \cdot L_a}, \quad (11.8)$$

где n_a – количество анкеров, устанавливаемых в кровле выработки;

B – ширина выработки в проходке;

L_a – шаг установки опорно-анкерного крепления вдоль выработки.

Таблица 11.4

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА k_a АНКЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ

$n_{нл}$, шт/м ²	1	1,5	2	2,5
k_a	1,9	2,35	2,6	2,75

11.2.4. Справочные данные к выполнению расчета параметров крепежных и охранных систем повторно используемых выработок.

Таблица 11.5

**УГОЛ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ φ И КОЭФФИЦИЕНТ
РАЗРЫХЛЕНИЯ k_p ПОРОД УГЛЕВМЕЩАЮЩЕЙ ТОЛЩИ**

Тип пород	φ , град	k_p
Мергели	10 – 25	1,15 – 1,20
Известняки	20 – 30	1,20 – 1,30
Аргиллиты	15 – 30	1,15 – 1,25
Алевролиты	25 – 35	1,20 – 1,25
Песчаники	35 – 40	1,25 – 1,35

Таблица 11.6

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ РАМНОЙ КРЕПИ КШПУ

Площадь сечения в свету, м ²	Тип спецпрофиля	Несущая способность, кН/рама
9,5	СВП-19	380
	СВП-22	443
10,5	СВП-19	397
	СВП-22	451
11,0	СВП-22	404
	СВП-27	550
11,7	СВП-22	421
	СВП-27	589

Сопротивление сжатию деревянных стоек из сосны: вдоль волокон $\sigma_{с.в}^{\partial.в} = 40$ МПа; поперек волокон $\sigma_{с.ж}^{\partial.п} = 3,5$ МПа.

11.3. РАСЧЕТ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОНТУРА ВЫРАБОТКИ НА ХАРАКТЕРНЫХ УЧАСТКАХ ЕЕ ПОДДЕРЖАНИЯ

11.3.1. Последовательность выполнения расчета

Для каждого участка поддержания выработки определяется величина сближения кровли и почвы $U^{K,П}$ с учетом коэффициента влияния геометрических размеров выработки k_s и коэффициента влияния устойчивости вмещающих выработку пород k_y , которые рассчитываются по формулам:

$$k_s = 0,2(B-1); \quad (11.9)$$

$$k_y = 1,64 - 0,016R, \quad (11.10)$$

где B – ширина выработки в проходке;
 R – в соответствии с формулой (11.2).

Опускание кровли выработки U^K определяется по формуле

$$U^K = (1,14 - 0,00052H) \frac{U^{K,П} \cdot R^П}{R^K + R^П}, \quad (11.11)$$

где H – глубина разработки;

R^K и $R^П$ – в соответствии с формулой (11.3).

Поднятие (пучение) почвы выработки на каждом из участков определяется по формуле

$$U^П = U^{K,П} - U^K. \quad (11.12)$$

Сближения боков выработки на каждом из участков ($i = 1, \dots, 3$) рассчитывается по формуле

$$U_i^{\delta} = \sum_{i=1}^n k_{\delta i} (U_i^{K,П} - U_{i-1}^{K,П}), \quad (11.13)$$

где $k_{\delta i}$ – коэффициент пропорциональности, учитывающий долю сближения контура выработки в горизонтальном направлении по отношению к вертикальному направлению; определяется по табл. 11.7 для каждого из участков поддержания выработки.

Таблица 11.7

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА k_{δ}

Условия поддержания выработки	k_{δ}
Вне зоны влияния очистных работ	0,20
В зоне опорного давления впереди первого очистного забоя	0,39
Позади очистного забоя	0,65

11.3.2. Вне зоны влияния очистных работ величина $U_1^{K,II}$ сближения кровли и почвы определяется по формуле

$$U_1^{K,II} = 1,5H \cdot k_s \cdot k_y. \quad (11.14)$$

11.3.3. В зоне опорного давления впереди очистного забоя величина $U_2^{K,II}$ сближения кровли и почвы рассчитываются по формуле

$$U_2^{K,II} = 3,9H \cdot k_s \cdot k_y. \quad (11.15)$$

11.3.4. Позади очистного забоя величина $U_3^{K,II}$ сближения кровли и почвы определяется по формуле

$$U_3^{K,II} = (3,9 + 2m)H \cdot k_s \cdot k_y. \quad (11.16)$$

**11.4. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ СВОДА
ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ
И НАГРУЗКИ НА КРЕПЕЖНУЮ СИСТЕМУ**

11.4.1. Последовательность выполнения расчета:

- определяется величина опускания кровли U_i^K на каждом из участков ($i = 1...3$) поддержания повторно используемой выработки по формулам (11.9) – (11.11) и (11.14) – (11.16);

- определяется величина сближения боков выработки U_i^{δ} по формулам (11.9), (11.10) и (11.13) – (11.16);

- рассчитывается высота h_i и ширина b_i свода предельного равновесия;

- рассчитывается нагрузка P_i на крепежную систему;

- определяется граница контура $y(Z)$ свода предельного равновесия.

11.4.2. Расчет высоты свода предельного равновесия

На участке выработки вне зоны влияния очистных работ высота h_1 свода предельного равновесия определяется по формуле

$$h_1 = \frac{U_1^k}{\eta_1}. \quad (11.17)$$

На участке выработки позади очистного забоя высота h_3 свода предельного равновесия определяется по формуле

$$h_3 = \frac{(U_3^k - U_1^k)^2}{\eta_2(U_2^k - U_1^k) + \eta_3(U_3^k - U_2^k)}. \quad (11.18)$$

11.4.3. Расчет ширины свода предельного равновесия

На участке выработки позади очистного забоя ширина b_3 свода предельного равновесия определяется по формуле

$$b_3 = B + \frac{(U_3^\sigma - U_1^\sigma)^2}{\eta_2(U_2^\sigma - U_1^\sigma) + \eta_3(U_3^\sigma - U_2^\sigma)}. \quad (11.19)$$

11.4.4. Нагрузка P_i на крепежную систему на 1 п.м выработки определяется по формуле

$$P_i = B \cdot \gamma_i \cdot k_\sigma, \quad (11.20)$$

где γ – средневзвешенный объемный вес пород кровли по высоте свода предельного равновесия;

k_σ – коэффициент, учитывающий динамику проявления горного давления; определяется по табл. 11.8.

Таблица 11.8

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ k_σ

Зазор между крепью и контуром кровли, мм	0	50	100	200	300	500
k_σ	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0

Примечание: коэффициент динамичности k_σ вводится в расчетные выражения на участках выработки, где возводятся крепежные и охранные системы: вне зоны влияния очистных работ, впереди и позади очистного забоя.

11.4.5. Границы контура свода предельного равновесия относительно замка свода рамной крепи определяются уравнением $y(Z)$ связи вертикальной y и горизонтальной Z координат пород кровли

$$y = h_i \left(1 - \frac{4}{b_i^2} Z^2 \right). \quad (11.21)$$

11.5. РАСЧЕТ НАГРУЗКИ НА ОХРАННУЮ СИСТЕМУ

11.5.1. Структура и последовательность расчета

Нагрузка Q_j определяется поэлементно на каждую грузонесущую составляющую охранной системы:

Q_1 – нагрузка на обрезную крепь во всех схемах охраны;

Q_2 – нагрузка на опорную часть охранной системы;

Q_3 – нагрузка на боковые стойки усиления, устанавливаемые на границе с бермой.

Нагрузка на опорную часть рассчитывается в зависимости от ее конструктивного исполнения: костер, кустокостер, накатный костер, литая полоса, СКУ и их комбинации. Выбор конструкции опорной части производится по факторам формирующейся нагрузки и устойчивости бермы.

Нагрузка на составляющие охранной системы определяется на один погонный метр длины выемочной выработки.

11.5.2. Нагрузка Q_1 на органную обрезную крепь определяется из условий обрушения консольно зависающих породных слоев основной кровли на высоту $H_{ш.б}$ до границы зон шарнирно-блокового сдвижения и плавного прогиба слоев без нарушения сплошности

$$Q_1 = \gamma H_{ш.б} (l_1 + 0,14 H_{ш.б}) k_d, \quad (11.22)$$

где l_1 – ширина обрезной крепи с учетом прогонов и лежней из деревянных брусьев (0,15 м для однорядной и 0,4 м для двухрядной крепи).

В формуле (11.22) принимается коэффициент динамичности $k_d = 2$ (в соответствии с табл. 11.8), так как стойки обрезной крепи устанавливаются с некоторым начальным распором.

11.5.3. Нагрузка Q_3 на боковые стойки усиления, устанавливаемые на границе с бермой, рассчитывается из условий обрушения пород непосредственной кровли по ширине охранной системы

$$Q_3 = \gamma [l_3 h + m_1 (l_{ox} - l_1)] k_d, \quad (11.23)$$

где l_3 – ширина крепи из боковых деревянных стоек с учетом прогонов и лежней (0,2 м для однорядной и 0,5 м для двухрядной крепи усиления);

l_{ox} – ширина охраняемого участка бермы;

m_1 – суммарная мощность обрушаемых пород непосредственной кровли

и нижних слоев основной кровли.

Такое техническое решение позволяет за счет обрушения и разрыхления слабых тонкослоистых пород кровли мощностью m_1 создать подпор вышележащим породам основной кровли и частично разгрузить крепежную систему. Величина m_1 определяется по формуле

$$m_1 = \frac{m}{k_p^{cp} - 1}, \quad (11.24)$$

где k_p^{cp} – средневзвешенный коэффициент разрыхления пород обрушаемой надугольной толщи; определяется по формуле

$$k_p^{cp} = \frac{1}{m_1} \sum_{\beta} m^{\beta} k_p^{\beta}, \quad (11.25)$$

здесь через m^{β} и k_p^{β} обозначены мощность и коэффициент разрыхления (см. табл. 11.5) β -го породного слоя обрушенных пород.

В формуле (11.23) принимается коэффициент динамичности $k_d = 2$.

11.5.4. Нагрузка Q_2 на опорную часть охранной системы определяется из условия удержания пород надугольной толщи по высоте зоны шарнирно-блокового сдвижения

$$Q_2 = 0,5k_d(M - \gamma h_i) - Q_1 - Q_3, \quad (11.26)$$

где M – вес пород в мульде сдвижения над выемочной выработкой до границы зоны правого прогиба слоев без нарушения сплошности; рассчитывается по формуле

$$M = \gamma H_{ш.б} \left(\frac{B + b_i}{2} + l_{ox} + 0,23H_{ш.б} \right). \quad (11.27)$$

В формуле (11.26) принимается коэффициент динамичности $k_d = 2$, а в формулах (11.26) и (11.27) индекс $i = 3$ (участок выработки позади очистного забоя).

12. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

12.1. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ

12.1.1. Сталеполимерные анкера опорно-анкерного крепления формируют вокруг выработки грузонесущую армопородную арку, которая представляет собой самостоятельный крепежный элемент, удерживающий, как минимум собственный вес расслаиваемой кровли, который на один погонный метр выработки определяется по формуле

$$P_{on.a} = \gamma \cdot B \cdot l_a, \quad (12.1)$$

где l_a – активная длина анкера; определяется как общая длина анкера за вычетом длины его хвостовика, входящего в полость выработки.

Сталеполимерные анкера развивают максимальную несущую способность, активно препятствуя расслоению непосредственной кровли, если вся длина замковой части располагается за границей свода предельного равновесия, что проверяется по условию

$$l_a - l_a^3 \geq h_1, \quad (12.2)$$

где l_a^3 – длина замковой части сталеполимерного анкера, обеспечивающая его максимальную несущую способность; принимается $l_a^3 = 0,6$ м.

Если условие (12.2) не выполняется, то необходимо увеличить длину анкера.

Рекомендуемые схемы установки анкеров в зависимости от группы горно-геологических условий приведены в главе 10.

12.1.2. Вес пород кровли, удерживаемый канатными анкерами на 1 п.м выработки, определяется по формуле

$$P_{к.а} = \frac{1}{L_{к.а}} \sum_{1}^n N_{к.а} \sin \alpha_{к.а}, \quad (12.3)$$

где n – количество канатных анкеров в сечении выработки;

$L_{к.а}$ – шаг установки канатных анкеров;

$N_{к.а}$ – несущая способность канатных анкеров;

$\alpha_{к.а}$ – угол наклона анкера к вертикальной оси.

12.1.3. Выполняется проверка параметров установки канатного анкера по условию закрепления замковой части его длины за пределами свода обру-

шения на участке активного расслоения пород кровли в зоне опорного давления впереди очистного забоя

$$l_{к.а} - l_{к.а}^3 \geq \frac{h_6 - h_{к.а}}{\sin \alpha_{к.а}} + \frac{Z_2 - Z_1}{\cos \alpha_{к.а}}, \quad (12.4)$$

где $l_{к.а}$ – активная длина канатного анкера (общая длина за вычетом длины хвостовика);

$l_{к.а}^3$ – длина замковой части канатного анкера, обеспечивающая его максимальную несущую способность; принимается $l_{к.а}^3 = 1,0 - 1,1$ м;

$h_{к.а}$ – высота установки канатного анкера от почвы выработки;

Z_1 и Z_2 – вспомогательные геометрические параметры, определяемые по формулам

$$Z_1 = b_{к.а} + (h_6 - h_{к.а}) \operatorname{ctg} \alpha_{к.а}; \quad (12.5)$$

$$Z_2 = \frac{b_3^2}{8h_3} \left[\sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha_{к.а} + \frac{16h_3}{b_3^2} (h_3 + Z_1 \operatorname{tg} \alpha_{к.а})} - \operatorname{tg} \alpha_{к.а} \right]. \quad (12.6)$$

В формулах (12.5) и (12.6) обозначено:

$b_{к.а}$ – расстояние от вертикальной оси выработки до места установки канатного анкера;

h_3 и b_3 – высота и ширина свода предельного равновесия позади очистного забоя; определяется по формулам (11.18) и (11.19).

При невыполнении условия (12.4) необходимо уменьшить угол $\alpha_{к.а}$ и произвести повторную проверку.

12.1.4. Нагрузка на рамную крепь P_{pi} определяется для трех участков поддержания выработки с целью установления необходимости ее усиления

$$P_{pi} = P_i - P_{он.а} - P_{к.а}. \quad (12.7)$$

12.1.5. Шаг установки рамной крепи L_p выбирается по формуле

$$L_p = \frac{N_p}{P_{pi}}, \quad (12.8)$$

где N_p – несущая способность рамной крепи; выбирается по табл. 11.6.

Принимается ближайший меньший стандартный шаг установки рамной крепи, который равен шагу установки опорно-анкерного крепления; шаг установки канатных анкеров кратный L_p .

12.1.6. При $L_p < 0,8$ м требуется установка стоек крепи усиления, несущая способность $N_{к.у}$ которых рассчитывается по формуле

$$N_{к.у} = L_p(P_5 - P_{он.а} - P_{к.а}) - N_p. \quad (12.9)$$

При установке деревянных стоек крепи усиления их диаметр $d_{к.у}$ определяется по формуле

$$d_{к.у} \geq 10^{-2} \left(1,7l_{к.у} + \sqrt{2,89l_{к.у}^2 + 0,56N_{к.у}} \right), \quad (12.10)$$

где $l_{к.у}$ – длина стойки.

При $d_{к.у} > 0,22$ м устанавливается два ряда деревянных стоек, диаметр которых рассчитывается по формуле (12.10) с уменьшением значения $N_{к.у}$ в два раза.

12.1.7. Участок возведения стоек крепи усиления выбирается на основе расчета шага $L_{p,i}$ установки рамной крепи по формулам (12.7) и (12.8), где нагрузка P_i определяется для каждого из участков ($i = 2, 3$) поддержания выработки:

– при $L_{p,2} < 0,8$ м стойки крепи усиления возводятся до границы зоны опорного давления впереди очистного забоя с опережением не менее расстояния $L_{o,\delta}$, рассчитываемого по формуле

$$L_{o,\delta} = (0,1H + 10)(0,007R + 0,72)(0,25m + 0,75); \quad (12.11)$$

– при $L_{p,3} < 0,8$ м $\leq L_{p,2}$ стойки крепи усиления возводятся позади очистного забоя.

12.2. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ОХРАННОЙ СИСТЕМЫ

12.2.1. Расчет производится в соответствии с порядком определения нагрузки на грузонесущие элементы охранной системы (см. §11.5).

12.2.2. Диаметр деревянных стоек $d_{оп.к}$ (в метрах) и количество n_1 рядов обрезной крепи определяется по формуле

$$d_{оп.к} \geq 10^{-2} \left(1,33l_{оп.к} + \sqrt{1,77l_{оп.к}^2 + \frac{Q_1}{2,3 \cdot n_1 \cdot n_{оп.к}}} \right), \quad (12.12)$$

где $l_{ор.к}$ – длина стоек обрезной крепи;

n_1 – количество рядов обрезной крепи;

$n_{ор.к}$ – количество стоек на 1 п.м обрезного ряда; определяется по табл.

12.1.

Таблица 12.1

КОЛИЧЕСТВО СТОЕК $n_{ор.к}$ НА 1 п.м ОРГАННОГО РЯДА

$d_{ор.к}$, м	0,10	0,12	0,15
$n_{ор.к}$, шт.	7	6	5

Длина стек обрезной крепи определяется с учетом их установки на лежни и под прогоны из деревянного бруса

$$l_{ор.к} = m - \bar{b}_{леж.} - \bar{b}_{пр.}, \quad (12.13)$$

где $\bar{b}_{леж.}$ и $\bar{b}_{пр.}$ – толщина деревянных брусьев для установки лежней и прогонов.

Расчет производится методом последовательных приближений, начиная с одного ряда ($n_1 = 1$) обрезной крепи из стоек диаметром $d_{ор.к} = 0,1$ м (7 шт. на 1 п.м ряда). При результате расчета $d_{ор.к} > 0,15$ м принимается два ряда обрезной крепи и расчет повторяется.

12.2.3. Диаметр боковых деревянных стоек усиления d_{δ} , устанавливаемых на границе с бермой, определяется по формуле

$$d_{\delta} \geq 10^{-2} \left(1,7l_{\delta} + \sqrt{2,89l_{\delta}^2 + \frac{L_p Q_3}{1,79 \cdot n_3}} \right), \quad (12.14)$$

где l_{δ} – длина боковых стоек усиления; определяется как высота плоскости кровли угольного пласта относительно почвы выработки за вычетом толщины лежней и прогонов, устанавливаемых в комплекте со стойками.

При $d_{\delta} > 0,22$ м возводятся два ряда деревянных стоек усиления, диаметр которых рассчитывается по формуле (12.14) с уменьшением значения Q_3 в два раза.

12.2.4. Параметры опорной части охранной системы определяются по величине нагрузки Q_2 в зависимости от выбранной конструктивно-технологической схемы поддержания выработки.

12.2.4.1. Способ охраны с применением только костровой крепи характеризуется ее податливым режимом работы с низкой реакцией сопротивления,

что ограничивает область его применения. Несущая способность костра определяется по формуле

$$N_k = 4n_k d_{cm}^2 \sigma_{сж}^{\partial.n} k_{cm}, \quad (12.15)$$

где n_k – количество костров по ширине опорной части;

d_{cm} – диаметр деревянных стоек;

$\sigma_{сж}^{\partial.n}$ – предел прочности на сжатие древесины (сосна) поперек волокон; определяется по п. 11.2.4;

k_{cm} – коэффициент, учитывающий повышение сопротивления древесины в процессе ее смятия поперек волокон; определяется по табл. 12.2 в зависимости от величины Δ относительной усадки костра.

Таблица 12.2

**ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СМЯТИЯ
ДРЕВЕСИНЫ ПОПЕРЕК ВОЛОКОН**

Относительная усадка костра Δ , %	0	10	20	30	40
k_{cm}	1,0	2,0	2,5	3,7	6,0

Количество костров по ширине опорной части определяется по формуле

$$n_k \geq \frac{Q_2 L_k}{4d_{cm}^2 \sigma_{сж}^{\partial.n} k_{cm}}, \quad (12.16)$$

где L_k – шаг установки костров вдоль выработки.

При $n_k > 2$ наряду со значительной усадкой костров (30% и более) режим их работы следует ужесточить с одновременным повышением несущей способности путем частичного преобразования в кустокостер.

12.2.4.2. Применение кустокостра предусматривает установку деревянных стоек в количестве $n_{к.к}$ на 1 п.м выработки определяемом по формуле

$$n_{к.к} \geq 10^{-2} \frac{Q_2 - \frac{N_k}{L_k} n_k}{d_{cm}^2 \left(230 - 6,1 \frac{l_{cm}}{d_{cm}} \right)}, \quad (12.17)$$

где l_{cm} – длина стоек в кустокостре.

В формуле (12.17) несущая способность костра N_k рассчитывается по выражению (12.15) при его усадке до 20% ($1,0 \leq k_{cm} \leq 2,5$).

12.2.4.3. При установке деревянных стоек на берме в районе ее границы их минимально допустимое количество определяется по формуле (12.16) с учетом стоек, размещенных в кустокостре.

12.2.4.4. При использовании накатного костра его минимально допустимая ширина $l_{н.к}$ рассчитывается по формуле

$$l_{н.к} = \frac{L_{н.к} Q_2}{b_{н.к} \sigma_{сж}^{д.п} k_{см}}, \quad (12.18)$$

где $b_{н.к}$ – длина накатного костра вдоль выработки;

$L_{н.к}$ – шаг установки накатного костра.

12.2.4.5. Комбинация накатного костра со стойками на берме, устанавливаемых в «разбежку» или в виде поперечных (по отношению к продольной оси выработки) рядов предусматривает расчет ширины накатного костра по формуле

$$l_{н.к} = \frac{L_{н.к} Q_2 - n_{см} - N_{см}}{b_{н.к} \sigma_{сж}^{д.п} k_{см}}, \quad (12.19)$$

где $n_{см}$ – количество стоек на 1 п.м выработки;

$N_{см}$ – несущая способность деревянной стойки, определяется по формуле

$$N_{см} = 10^2 \left(230 - 6,1 \frac{l_{см}}{d_{см}} \right) d_{см}^2. \quad (12.20)$$

12.2.4.6. Ширина литой полосы определяется по формуле

$$l_{л} = \frac{Q_2 - n_{см} N_{см}}{10^3 \sigma_{сум}} k_3, \quad (12.21)$$

где $\sigma_{сум}$ – предел прочности (в МПа) строительной смеси после суточного обезвоживания в литой полосе;

$k_3 = 1,5$ – коэффициент запаса, учитывающий неравномерность нагружения литой полосы по своему объему.

12.2.4.7. Ширина литой полосы при ее чередовании по длине выработки со сборной крепью усиления (СКУ) определяется по формуле

$$l_{л} = \frac{l_{л} Q_2 - n_{см} N_{см} - \frac{L_{ску}}{L_{л}} n_{ску} N_{ску}}{10^3 b_{л} \sigma_{сум}} k_3, \quad (12.22)$$

где $l_{л}$ и $b_{л}$ – шаг возведения и длина участка литой полосы вдоль выработки;

$n_{ску}$ – количество единиц СКУ на 1 п.м выработки;

$N_{СКК}$ – несущая способность СК; определяется по формуле

$$N_{СКК} = 0,6d_{СКУ}^2 \sigma_{СЖ}^{\partial.П}, \quad (12.23)$$

здесь через $d_{СКУ}$ обозначен внешний диаметр СКУ.

12.2.5. Устойчивость бермы выработки характеризуется минимально допустимой шириной l_{ox} охраняемого участка бермы, которая определяется по формуле

$$l_{ox} \geq \frac{h_{\delta}}{\operatorname{tg} \varphi}, \quad (12.24)$$

где h_{δ} – высота бермы;

φ – угол внутреннего трения пород непосредственной почвы пласта; ориентировочно определяется по табл. 11.5.

При невыполнении условий (12.24) опорная часть охранной системы отодвигается от контура выработки на расстояние l_2 , рассчитываемое по формуле

$$l_2 = \frac{h_{\delta}}{\operatorname{tg} \varphi} - l_{ox}. \quad (12.25)$$

12.3. ПАРАМЕТРЫ ПОДРЫВКИ ПОЧВЫ

12.3.1. Необходимость подрывки почвы определяется по прогнозной величине ее поднятия U_i^{Π} , рассчитываемой для каждого участка поддержания выработки ($i = 1, 2, 3$) по формуле (11.12).

12.3.2. Участок поддержания выработки, где необходимо произвести первую подрывку почвы, определяется по условию

$$U_i^{\Pi} \geq U_{\delta on}^{\Pi}, \quad (12.26)$$

где $U_{\delta on}^{\Pi}$ – допустимая величина поднятия почвы по комплексу технологических параметров ведения горных работ; определяется инженерно-техническим персоналом шахты.

12.3.3. Необходимость второй подрывки пород почвы выработки определяется по условию

$$U_{i+j}^{\Pi} - U_i^{\Pi} > U_{\delta on}^{\Pi}, \quad (12.27)$$

где индексом « $i + j$ » ($j = 1, 2, 3$) обозначена нумерация последующих (после первой подрывки почвы) участков поддержания.

12.4. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

12.4.1. Горно-геологические условия

Пример расчета выполнен для участка выработки со структурой углевмещающей толщи по скважине №13503. Глубина расположения участка выработки $H = 322$ м. Средневзвешенный удельный вес пород надугольной толщи принят $\gamma = 25$ кН/м³. Вынимаемая мощность угольного пласта $m = 1,05$ м, среднее значение сопротивления сжатию $\sigma_{сж} = 32,4$ МПа.

Породы кровли (по мере удаления от угольного пласта): алевролит мощностью $m_1^K = 5,8$ м, средним значением сопротивления сжатию $\sigma_{сж1}^K = 20,2$ МПа; аргиллит $m_2^K = 6,2$ м, $\sigma_{сж2}^K = 23,6$ МПа; песчаник $m_3^K = 18,4$ м, $\sigma_{сж3}^K = 26,5$ МПа. Итого учет строения и свойств пород кровли произведен на высоту $30,4 > 20$ м, как того требует СОУ 10.1.00185790.011:2007. Аргиллиты и алевролиты слоистые (среднее расстояние между поверхностями ослабления $0,5 - 1,0$ м), легкообрушаемые, естественной влажности. Песчаники кварцевые на глинистом цементе, слоистые (среднее расстояние между поверхностями ослабления $0,5 - 1,0$ м), обводненные от легко- до среднеобрушаемых.

Породы почвы (по мере удаления от угольного пласта): аргиллит мощностью $m_1^II = 0,5$ м, средним значением сопротивления сжатию $\sigma_{сж1}^II = 15,2$ МПа; алевролит $m_2^II = 1,4$ м, $\sigma_{сж2}^II = 21,0$ МПа; аргиллит $m_3^II = 0,8$ м, $\sigma_{сж3}^II = 15,0$ МПа; алевролит $m_4^II = 0,8$ м, $\sigma_{сж4}^II = 24,6$ МПа; аргиллит $m_5^II = 0,8$ м, $\sigma_{сж5}^II = 15,0$ МПа; уголь пласта C_4^3 $m_6^II = 0,25$ м, $\sigma_{сж6}^II = 32,4$ МПа; алевролит $m_7^II = 3,6$ м, $\sigma_{сж7}^II = 25,6$ МПа; уголь $m_8^II = 0,13$ м, $\sigma_{сж8}^II = 32,4$ МПа; алевролит $m_9^II = 12,0$ м, $\sigma_{сж9}^II = 25,6$ МПа. Аргиллиты от комковатых до слоистых, интенсивно пучающиеся. Алевролиты горизонтальнослоистые, пучающиеся.

Выработка высотой в проходке $h_g = 3,66$ м и шириной в проходке $B = 4,86$ м проводится под рамную крепь КШПУ-11.7 с рекомендуемой глубиной подрывки $h_{\sigma} = 0,8 - 1,0$ м. Предусматривается применение сталеполлимерных анкеров длиной $2,4$ м в системе опорно-анкерного и рамно-анкерного крепления, а также канатных анкеров длиной 6 м.

12.4.2. Порядок определения расчетных значений сопротивления сжатию вмещающих выработку пород

Для каждого слоя пород кровли и почвы определяется расчетное значение сопротивления сжатию в массиве с учетом действия ослабляющих факторов по формуле (11.5). Коэффициенты k_c и k_w определяются по табл. 11.2 и 11.3 соответственно, а коэффициент k_t рассчитывается по формуле (11.6). Результаты расчета сведены в табл. 12.3

Таблица 12.3

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ ПОРОДНЫХ СЛОВ УГЛЕВМЕЩАЮЩЕЙ ТОЛЩИ

Сопротивление пород сжатию в образце, МПа		Коэффициенты			Расчетное сопротивление сжатию, МПа
		k_c	k_w	k_t	
Кровля	$\sigma_{сж1}^K = 20,2$	0,6	1,0	0,794	$R_1^K = 9,62$
	$\sigma_{сж2}^K = 23,6$	0,6	1,0	0,808	$R_2^K = 11,44$
	$\sigma_{сж3}^K = 26,5$	0,6	0,8	0,819	$R_3^K = 10,42$
Почва	$\sigma_{сж1}^П = 15,2$	0,8	1,0	0,768	$R_1^П = 9,34$
	$\sigma_{сж2}^П = 21,0$	0,6	1,0	0,797	$R_2^П = 10,04$
	$\sigma_{сж3}^П = 15,0$	0,8	1,0	0,767	$R_3^П = 9,20$
	$\sigma_{сж4}^П = 24,6$	0,6	1,0	0,812	$R_4^П = 11,99$
	$\sigma_{сж5}^П = 15,0$	0,8	1,0	0,767	$R_5^П = 9,20$
	$\sigma_{сж6}^П = 32,4$	0,4	0,8	0,835	$R_6^П = 8,66$
	$\sigma_{сж7}^П = 25,6$	0,6	1,0	0,815	$R_7^П = 12,52$
	$\sigma_{сж8}^П = 32,4$	0,4	0,8	0,835	$R_8^П = 8,66$
	$\sigma_{сж9}^П = 25,6$	0,6	1,0	0,815	$R_9^П = 12,52$

Учет анкерного упрочнения приконтурных пород. Непосредственная кровля на глубину 2,3 м упрочняется анкерами длиной 2,4 м системы опорно-анкерного крепления. Практически вся мощность слоя алевролита ($m_1^K = 5,8$ м) упрочняется канатными анкерами длиной 6 м. По высоте подрывки почвы выработки упрочняется первый слой (аргиллит $m_1^П = 0,5$ м) боковыми

анкерами. Для определения коэффициента k_a анкерного упрочнения по табл. 11.4 предварительно выбрана базовая схема группы III поддержания выработки, как наиболее полно отвечающая строению и свойствам пород надугольной толщи. Эта схема предусматривает установку: в кровле пяти анкеров ($n_a = 5$) системы опорно-анкерного крепления с шагом $L_a = 0,8 - 1,0$ м, а также двух канатных анкеров с шагом $L_{к.а} = 1,6 - 2,0$; в боках выработки – по одному сталеполлимерному анкеру длиной 2,4 м с шагом $L_a = 0,8 - 1,0$ м.

Поскольку первый породный слой кровли подвержен разной степени упрочнения, то он разделен на два подслоя с мощностями $m_1^{K1} = 2,3$ м и $m_1^{K2} = 3,5$ м.

С некоторым запасом устойчивости выработки упрочняющий эффект учитывается только для опорно-анкерного крепления в кровле, где размещается максимальное количество анкеров. По формуле (11.8) определяем минимальную (при $L_a = 1,0$ м) плотность установки анкеров в кровле

$$n_{нл} = \frac{n_a}{B \cdot L_a},$$

$$n_{нл} = \frac{5}{4,86 \cdot 1,0} = 1,03 \text{ шт/м}^2.$$

По табл. 11.4 выбираем коэффициент анкерного упрочнения $k_a = 1,9$ и по формуле (11.7) определяем расчетное сопротивление сжатию нижней пачки аргиллита мощностью $m_1^{K1} = 2,3$ м

$$R_1^{K1} = R_1^K \cdot k_a,$$

$$R_1^{K1} = 9,62 \cdot 1,9 = 18,28 \text{ МПа}.$$

По формуле (11.4) определяем коэффициент влияния $k_i^{K,II}$ породных слоев на интегральные показатели сопротивления сжатию пород кровли и почвы

$$k_i^{K,II} = \exp \left[-\eta \left(l_i^{K,II} - \frac{h_6}{2} \right) \right].$$

Поскольку значения параметра η изменяется в зависимости от участка поддержания выработки, то вычисления $k_i^{K,II}$ удобнее свести в таблицу 12.4, в которой номер столбца при коэффициенте $k_i^{K,II}$ обозначает соответ-

ствующий участок:

- 1 – участок выработки вне зоны влияния очистных работ;
- 2 – участок выработки в зоне опорного давления впереди очистного забоя;
- 3 – участок выработки позади первого очистного забоя.

Таблица 12.4

**ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ВЛИЯНИЯ $k_i^{K,II}$ ПОРОДНЫХ СЛОЕВ
НА ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ
ПОРОД КРОВЛИ И ПОЧВЫ**

Кровля или почва	Мощность $m_i^{K,II}$, м	Расчет сопротивления сжатию $R_i^{K,II}$, МПа	Расстояние, $l_i^{K,II}$, м	$k_i^{K,II}$		
				1	2	3
Кровля	2,3	18,28	1,27	1,323	1,106	1,088
	3,5	9,62	4,17	0,310	0,656	0,704
	6,2	11,44	9,02	0,027	0,274	0,340
	18,4	10,42	21,32	0,000	0,030	0,054
Почва	0,5	9,34	1,18	1,384	1,124	1,102
	1,4	10,04	2,13	0,861	0,947	0,956
	0,8	9,20	3,23	0,497	0,777	0,811
	0,8	11,99	4,03	0,333	0,673	0,719
	1,0	9,0	4,93	0,212	0,572	0,628
	0,5	8,66	5,56	0,155	0,511	0,571
	3,6	12,52	7,48	0,059	0,362	0,428
	0,13	8,66	9,34	0,023	0,259	0,324
	12,0	12,52	15,41	0,001	0,087	0,130

По формуле (11.3) определяем значения интегральных показателей сопротивления сжатию пород кровли R^K и почвы R^{II} на всех трех вышеупомянутых участках поддержания выемочной выработки

$$R^{K,II} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i^{K,II} \cdot m_i^{K,II} \cdot k_i^{K,II}}{\sum_{i=1}^n m_i^{K,II} \cdot k_i^{K,II}} ;$$

– участок выработки (№1) вне зоны влияния очистных работ

$$R^K = \frac{18,28 \cdot 2,3 \cdot 1,323 + 9,62 \cdot 3,5 \cdot 0,310 + 11,44 \cdot 6,2 \cdot 0,027 + 10,42 \cdot 18,4 \cdot 0,000}{2,3 \cdot 1,323 + 3,5 \cdot 0,310 + 6,2 \cdot 0,027 + 18,4 \cdot 0,000} = 15,8 \text{ МПа,}$$

$$R^{II} = \frac{30,54}{3,039} = 10,0 \text{ МПа};$$

– участок выработки (№2) в зоне опорного давления впереди очистного забоя

$$R^K = \frac{93,77}{7,091} = 13,2 \text{ МПа},$$

$$R^{II} = \frac{66,79}{6,129} = 10,9 \text{ МПа};$$

– участок выработки (№3) позади очистного забоя

$$R^K = \frac{103,91}{8,068} = 12,9 \text{ МПа},$$

$$R^{II} = \frac{77,66}{7,027} = 11,1 \text{ МПа}.$$

По формуле (11.2) определяем среднее значение сопротивления сжатию близлежащего массива для каждого из участков поддержания выработки

$$R = \frac{R^K + R^{II}}{2};$$

– участок выработки №1 $R = \frac{15,8 + 10,0}{2} = 12,9 \text{ МПа};$

– участок выработки №2 $R = \frac{13,2 + 10,9}{2} = 12,1 \text{ МПа};$

– участок выработки №3 $R = \frac{12,9 + 11,1}{2} = 12,0 \text{ МПа}.$

12.4.3. Определение смещений породного контура

Рассчитываем коэффициент k_s влияния геометрических размеров выработки по формуле (11.9)

$$k_s = 0,2(B-1),$$

$$k_s = 0,2(4,86 - 1) = 0,772.$$

Значения коэффициента k_y влияния устойчивости вмещающих выработку пород определяется по формуле (11.10) по трем рассматриваемым участкам поддержания выработки

$$k_y = 1,64 - 0,016R :$$

– участок выработки №1 $k_y = 1,64 - 0,016 \cdot 12,9 = 1,434;$

– участок выработки №2 $k_y = 1,64 - 0,016 \cdot 12,1 = 1,446;$

– участок выработки №3 $k_y = 1,64 - 0,016 \cdot 12,0 = 1,448.$

Рассчитываем величины сближения кровли и почвы по формулам (11.14) – (11.16).

– участок выработки №1 $U_1^{K,II} = 1,5H \cdot k_s \cdot k_y;$

$$U_1^{K,II} = 1,5 \cdot 322 \cdot 0,772 \cdot 1,434 = 535 \text{ мм};$$

– участок выработки №2 $U_2^{K,II} = 3,9H \cdot k_s \cdot k_y;$

$$U_2^{K,II} = 3,9 \cdot 322 \cdot 0,772 \cdot 1,446 = 1402 \text{ мм};$$

– участок выработки №3 $U_3^{K,II} = (3,9 + 2m)H \cdot k_s \cdot k_y;$

$$U_3^{K,II} = (3,9 + 2 \cdot 1,05) \cdot 322 \cdot 1,448 = 2160 \text{ мм}.$$

Определяем величины опускания кровли выработки в соответствии с формулой (11.11)

$$U^k = (1,14 - 0,00052H) \frac{U^{K,II} \cdot R^{II}}{R^K + R^{II}} :$$

– участок выработки №1

$$U_1^K = (1,14 - 0,00052 \cdot 322) \frac{535 \cdot 10,0}{15,8 + 10,0} = 202 \text{ мм};$$

– участок выработки №2

$$U_2^K = (1,14 - 0,00052 \cdot 322) \frac{1402 \cdot 10,9}{13,2 + 10,9} = 617 \text{ мм};$$

– участок выработки №3

$$U_3^K = (1,14 - 0,00052 \cdot 322) \frac{2160 \cdot 11,1}{12,9 + 11,1} = 972 \text{ мм};$$

Определяем величину сближения боков выработки по формуле (11.13) с учетом табл. 11.7

$$U_i^{\bar{o}} = \sum_{i=1}^n k_{\bar{o}i} (U_i^{K,II} - U_{i-1}^{K,II});$$

– участок выработки №1

$$U_1^{\bar{0}} = 0,20 \cdot 535 = 107 \text{ мм};$$

– участок выработки №2

$$U_2^{\bar{0}} = 0,20 \cdot 535 + 0,39(1402 - 535) = 445 \text{ мм};$$

– участок выработки №3

$$U_3^{\bar{0}} = 0,20 \cdot 535 + 0,39(1402 - 535) + 0,65(2160 - 1402) = 938 \text{ мм}.$$

Определяем величину поднятия почвы по формуле (11.12)

$$U^{II} = U^{K,II} - U^K;$$

– участок выработки №1 $U_1^{II} = 535 - 202 = 333 \text{ мм};$

– участок выработки №2 $U_2^{II} = 1402 - 617 = 785 \text{ мм};$

– участок выработки №3 $U_3^{II} = 2160 - 972 = 1188 \text{ мм}.$

12.4.4. Расчет параметров крепежной системы

Определяем высоту свода предельного равновесия на участках №1 и №3 по формулам (11.17) и (11.18) с использованием табл. 4.1.

На участке выработки вне зоны влияния очистных работ

$$h_1 = \frac{U_1^k}{\eta_1} = \frac{0,202}{0,5} = 0,404 \text{ м}.$$

В соответствии с СОУ 10.1.00185790.011:2007, если

$h_1 < 0,2B = 0,2 \cdot 4,86 = 0,972 \text{ м}$, то принимаем высоту свода $h_1 = 0,972 \text{ мм}$.

На участке выработки позади очистного забоя

$$\begin{aligned} h_3 &= \frac{(U_3^k - U_1^k)^2}{\eta_2(U_2^k - U_1^k) + \eta_3(U_3^k - U_2^k)} = \\ &= \frac{(0,972 - 0,202)^2}{0,18(0,617 - 0,202) + 0,15(0,972 - 0,617)} = 4,37 \text{ м}. \end{aligned}$$

Определяем ширину свода предельного равновесия на участке №3 по формуле (11.19) с использованием табл. 11.1.

На участке выработки позади первого очистного забоя

$$b_3 = B + \frac{(U_3^{\bar{\sigma}} - U_1^{\bar{\sigma}})^2}{\eta_2(U_2^{\bar{\sigma}} - U_1^{\bar{\sigma}}) + \eta_3(U_3^{\bar{\sigma}} - U_2^{\bar{\sigma}})} =$$

$$= 4,86 + \frac{(0,938 - 0,107)^2}{0,18(0,445 - 0,107) + 0,15(0,938 - 0,445)} = 9,98 \text{ м.}$$

Вес пород кровли (на 1 п.м выработки), удерживаемый опорно-анкерным креплением, рассчитывается по формуле (12.1)

$$P_{on.a} = \gamma \cdot B \cdot l_a,$$

$$P_{on.a} = 25 \cdot 4,86 \cdot 2,3 = 279,5 \text{ кН/м.}$$

Проверяем активную длину анкера по условию (12.2)

$$l_a - l_a^3 \geq h_1,$$

$$2,3 - 0,6 = 1,7 \geq 0,972 \text{ м.}$$

Вывод – условие закрепления замковой части анкера за границей свода предельного равновесия выполняется.

Вес пород кровли, удерживаемый канатными анкерами, определяется по формуле (12.3). По базовой схеме крепления принято два канатных анкера в сечении выработки ($n = 2$) с шагом установки $L_{к.а} = 1,6 - 2,0$ м, активной длиной $l_{к.а} = 5,9$ м. Угол наклона канатных анкеров к вертикальной оси $\alpha_{к.а} = 70 - 80^\circ$, расстояние от вертикальной оси выработки до места установки канатного анкера $b_{к.а} = 1,0$ м, высота установки канатного анкера от почвы выработки $h_{к.а} = 3,36$ м, несущая способность канатного анкера $N_{к.а} \geq 200$ кН по результатам шахтных испытаний.

$$P_{к.а} = \frac{1}{L_{к.а}} \sum_1^n N_{к.а} \sin \alpha_{к.а};$$

$$P_{к.а} = \frac{1}{1,6 \dots 2,0} (200 \cdot \sin 70^\circ + 200 \cdot \sin 70^\circ) = 187,9 \dots 234,9 \text{ кН/м}$$

в зависимости от шага ($L_{к.а} = 1,6 - 2,0$ м) установки канатного анкера.

Проверяем параметры установки канатных анкеров по условию (12.4). Для этого по формулам (12.5) и (12.6) определяем вспомогательные координаты Z_1 и Z_2 :

$$Z_1 = b_{к.а} + (h_{г} - h_{к.а}) \operatorname{ctg} \alpha_{к.а},$$

$$Z_1 = 1,0 + (3,66 - 3,36) \operatorname{ctg} 70^\circ = 1,11 \text{ м;}$$

$$Z_2 = \frac{b_3^2}{8h_3} \left[\sqrt{tg^2 \alpha_{к.а} + \frac{16h_3}{b_3^2} (h_3 + Z_1 tg \alpha_{к.а})} - tg \alpha_{к.а} \right],$$

$$Z_2 = \frac{9,98^2}{8 \cdot 4,63} \left[\sqrt{tg^2 70^\circ + \frac{16 \cdot 4,63}{9,98^2} (4,63 + 1,11 tg 70^\circ)} - tg 70^\circ \right] = 2,39 \text{ м.}$$

Условие (12.4) закрепления замковой части канатных анкеров за границами свода предельного равновесия

$$l_{к.а} - l_{к.а}^3 \geq \frac{h_6 - h_{к.а}}{\sin \alpha_{к.а}} + \frac{Z_2 - Z_1}{\cos \alpha_{к.а}};$$

$$5,9 - 1,1 \geq \frac{3,66 - 3,36}{\sin 70^\circ} + \frac{2,39 - 1,11}{\cos 70^\circ};$$

4,8 м > 4,06 м – условие выполняется.

Определяем нагрузку на крепежную систему по формуле (11.20) для участков №1 и №3 поддержания выработки

$$P_i = B \cdot \gamma_i \cdot k_d;$$

– участок №1 (с учетом коэффициента динамичности $k_d = 2$)

$$P_1 = 4,86 \cdot 25 \cdot 0,972 \cdot 2 = 236,2 \text{ кН/м};$$

– участок №3 (с учетом коэффициента динамичности $k_d = 2$)

$$P_3 = 4,86 \cdot 25 \cdot 4,63 \cdot 2 = 1125,1 \text{ кН/м.}$$

Определяем нагрузку на рамную крепь по формуле (12.7) для трех вышеуказанных участков поддержания выработки

$$P_{pi} = P_i - P_{on.a} - P_{к.а}.$$

Участок №1

$$P_{p1} = 236,2 - 279,5 - (187,9 \dots 234,9) = -(231,2 \dots 278,2) \text{ кН/м.}$$

Вывод – отрицательное значение P_{p1} указывает на достаточность поддержания кровли выработки только за счет опорно-анкерного и канатного крепления; шаг установки рамной крепи не рассчитывается.

Участок №3

$$P_{p3} = 1125,1 - 279,5 - (187,9 \dots 234,9) = 657,7 \dots 610,7 \text{ кН/м.}$$

Вывод – максимальная расчетная нагрузка на рамную крепь формируется на участке №3 (позади очистного забоя), для которого производится выбор ее шага установки.

Выбираем шаг установки рамной крепи по формуле (12.8) при использовании табл. 11.6 с данными по несущей способности N_p крепи КШПУ

$$L_p = \frac{N_p}{P_{p3}},$$

Для типового сечения выработки с крепью КШПУ-11,7 применяется два типоразмера рамной крепи, изготовленных из спецпрофиля СВП-22 ($N_p = 421$ кН) и СВП-27 ($N_p = 589$ кН). Сравнение величин N_p и P_{p3} показывают ($N_p < P_{p3}$), что шаг установки рам будет меньше 1 м для любого типоразмера; поэтому шаг установки канатных анкеров (через каждые две рамы) принимаем $l_{к.а} = 1,6$ м, для которого нагрузка на крепь равна $P_{p3} = 610,7$ кН/м.

Для СВП-22
$$L_p = \frac{421}{610,7} = 0,69 \text{ м.}$$

Для СВП-27
$$L_p = \frac{589}{610,7} = 0,96 \text{ м.}$$

Принимаем шаг установки $L_p = 0,8$ м рамной крепи КШПУ-11,7 из СВП-27.

Вывод – при рассчитанных параметрах поддержания выемочной выработки дополнительного усиления крепежной системы не требуется на всех участках.

12.4.5. Расчет параметров охранной системы

Определяем границу зоны шарнирно-блокового сдвижения по данным прогнозного геологического разреза выемочной выработки, опыту ведения горных работ на близлежащих участках шахтного поля или ориентировочно по формуле (11.1).

Данные прогнозно-геологического разреза по выемочной выработке указывают на слоистость и легкообрушаемость всех литологических разностей кровли вплоть до вышележащего (на расстоянии 29,0 – 32,5 м) пласта C_6 ; поэтому сложно выделить наиболее слабую поверхность, разделяющую зону плавного прогиба слоев без нарушения сплошности от обрушаемой основной кровли. Опыт ведения очистных работ на соседних выемочных участках указывает на обрушение основной кровли преимущественно мощностью до 10 – 12 м. Поэтому принято решение оценить высоту зоны шарнирно-блокового сдвижения с некоторым запасом по формуле (11.1)

$$H_{ш.б} = (15...20)m;$$

$$H_{ш.б} = (15...20)1,05 = 15,8...21,0 \text{ м.}$$

Принимаем максимальное значение высоты зоны шарнирно-блокового сдвижения $H_{ш.б} = 21,0 \text{ м.}$

Определяем нагрузку на обрезающую крепь по формуле (11.22) с учетом установки двух рядов стоек ($l_1 = 0,4$) и коэффициента динамичности $k_d = 2$

$$Q_1 = \gamma H_{ш.б} (l_1 + 0,14 H_{ш.б}) k_d,$$

$$Q_1 = 25 \cdot 21(0,4 + 0,14 \cdot 21)2 = 1753,5 \text{ кН.}$$

Определяем нагрузку на опорную часть охранной системы по формуле (11.26), где принято $Q_3 = 0$ ввиду отсутствия в базовой схеме охраны боковых стоек усиления, устанавливаемых на границе с бермой. Предварительно рассчитываем по формуле (11.27) вес пород в мульде сдвижения над выработкой с учетом принятой в базовой схеме ширины охраняемого участка бермы $l_{ox} = 1,8 \text{ м}$

$$M = \gamma H_{ш.б} \left(\frac{B + b_i}{2} + l_{ox} + 0,23 H_{ш.б} \right),$$

$$M = 2,5 \cdot 21 \left(\frac{4,86 + 9,98}{2} + 1,8 + 0,23 \cdot 21 \right) = 7376,3 \text{ кН/м.}$$

В соответствии с формулой (11.26) нагрузка на опорную часть охранной системы равна

$$Q_2 = 0,5 k_d (M - \gamma B h_i) - Q_1 - Q_3,$$

$$Q_2 = 0,5 \cdot 2(7376,3 - 25 \cdot 4,86 \cdot 4,63) - 1753,5 - 0 = 5060,3 \text{ кН/м.}$$

Вывод – для расчета опорной части охранной системы принимаем большее значение нагрузки $Q_2 = 5060,3 \text{ кН/м.}$

Параметры обрезающей крепи рассчитываются по формулам (12.12) и (12.13).

Предварительно с учетом достаточно высокой нагрузки Q_1 принимаем два ряда деревянных стоек ($n_1 = 2$) диаметром $d_{ор.к} = 0,12 \text{ м}$ в количестве $n_{ор.к} = 6$ шт. на 1 п.м в соответствии с табл. 12.1.

Длина стоек определяется по формуле (12.13) при толщине прогонов и лежней $b_{пр} = b_{леж.} = 0,10 \text{ м.}$

$$l_{ор.к} = m - b_{леж.} - b_{пр.};$$

$$l_{ор.к} = 1,05 - 0,10 - 0,10 = 0,85 \text{ м.}$$

По формуле (12.12) определяем диаметр стоек

$$d_{op.к} \geq 10^{-2} \left(1,33l_{op.к} + \sqrt{1,77l_{op.к}^2 + \frac{Q_1}{2,3 \cdot n_1 \cdot n_{op.к}}} \right),$$

$$d_{op.к} \geq 10^{-2} \left(1,33 \cdot 0,85 + \sqrt{1,77 \cdot 0,85^2 + \frac{1753,5}{2,3 \cdot 2 \cdot 6}} \right) = 0,0918 \text{ м} = 9,18 \text{ см.}$$

Принимаем диаметр стоек $d_{op.к} = 0,10$ м и производим повторный расчет с учетом $n_{op.к} = 7$ шт./м по табл. 12.1.

$$0,10 \geq 10^{-2} \left(1,33 \cdot 0,85 + \sqrt{1,77 \cdot 0,85^2 + \frac{1753,5}{2,3 \cdot 2 \cdot 7}} \right) = 0,086 \text{ м.}$$

Вывод – органная крепь возводится из двух рядов деревянных стоек диаметром 10 см в количестве 7 шт. на 1 п.м длины выработки.

Параметры опорной части охранной системы определяются в зависимости от ее конструкции. Базовая схема поддержания выработки для данных горно-геологических условий рекомендует установку по ширине опорной части ($n_k = 1$) кустокостра из деревянных стоек диаметром $d_{cm} = 0,10 - 0,12$ м; длина стоек в кустокостре принимается как и для органной крепи по формуле (12.13) $l_{cm} = l_{op.к} = 0,85$ м.

Расчет выполняется по формулам (12.15) и (12.17) с использованием табл. 12.2.

Определяем несущую способность костра из деревянных стоек диаметром $d_{cm} = 0,12$ м по формуле (12.15) при допустимой его усадке $\Delta = 30\%$ ($k_{cm} = 3,7$ по табл. 12.2) и сопротивление сжатию древесины поперек волокон $\sigma_{сж}^{\partial.n} = 3,5$ МПа (см. п.11.2.4)

$$N_k = 4n_k d_{cm}^2 \sigma_{сж}^{\partial.n} k_{cm};$$

$$N_k = 4 \cdot 1 \cdot 0,12^2 \cdot 3,5 \cdot 3,7 = 0,7459 \text{ МН} = 745,9 \text{ кН.}$$

По формуле (12.17) определяем минимально допустимое количество стоек $n_{к.к}$ в кустокостре, устанавливаемом с шагом $l_k = 1$ м вдоль выработки

$$n_{к.к} \geq 10^{-2} \frac{Q_2 - \frac{N_k}{L_k} n_k}{d_{cm}^2 \left(230 - 6,1 \frac{l_{cm}}{d_{cm}} \right)};$$

$$n_{к.к} \geq 10^{-2} \frac{5060,3 - \frac{745,9}{1}}{0,12^2 \left(230 - 6,1 \frac{0,85}{0,12} \right)} = 16,04 \text{ шт./м}$$

Принимаем минимально допустимое количество стоек в кустокодре $n_{к.к} = 17 \text{ шт./м}$.

Такое количество стоек диаметром 0,12 м возможно разместить в костре шириной 1,0 – 1,2 м и длиной (вдоль выработки) 0,8 м. Но с точки зрения альтернативного варианта с упрощенной технологией установки, рассмотрено возведение накатного костра длиной (вдоль выработки) $b_{н.к} = 0,8 \text{ м}$ и шагом установки $L_{н.к} = 1 \text{ м}$; допустимая усадка накатного костра остается прежней ($\Delta = 30\%$ $k_{см} = 3,7$).

Определяем минимально допустимую ширину накатного костра по формуле (12.18)

$$l_{н.к} = \frac{L_{н.к} Q_2}{b_{н.к} \sigma_{сж}^{\partial.П} k_{см}};$$

$$l_{н.к} = \frac{1 \cdot 5060,3}{0,8 \cdot 3,5 \cdot 10^3 \cdot 3,7} = 0,49 \text{ м.}$$

Вывод – накатный костер размером в плане 0,6×0,8 м с шагом установки $L_{н.к} = 1 \text{ м}$ не только эффективно противодействует опорному давлению, но и технологичен в процессе возведения; при этом расход лесоматериалов примерно одинаков по сравнению с кустокодром.

Проверяем устойчивость бермы по формуле (12.24) при глубине подрывки $h_{\delta} = 0,8 \text{ м}$ и ширине охраняемого участка $l_{ox} = 1,8 \text{ м}$. породы непосредственной почвы представлены аргиллитом комковатой и слоистой структуры, для которой по табл. 11.5 ориентировочно выбираем угол внутреннего трения $\varphi = 25^{\circ}$.

$$l_{ox} \geq \frac{h_{\delta}}{\text{tg} \varphi};$$

$$1,8 \geq \frac{0,8}{\text{tg} 25^{\circ}} = 1,72 \text{ м.}$$

Вывод – условие выполняется и берма выработки находится в устойчивом состоянии.

12.4.6. Параметры подрывки почвы

Необходимость подрывки почвы оценивается по величине ее поднятия, рассчитанной для каждого из участков поддержания выработки по формуле (11.12).

По формулам (12.26) и (12.27) определяем необходимость подрывки почвы и ее глубину для каждого конкретного случая поддержания выработки путем принятия решения о допустимой величине поднятия почвы $U_{\text{дон}}^{\text{II}}$. Ориентировочно по литературным источникам принимаем $U_{\text{дон}}^{\text{II}} = 300$ мм.

По формуле (12.26) проверяем состояние почвы на участке выработки вне зоны влияния очистных работ

$$U_i^{\text{II}} \geq U_{\text{дон}}^{\text{II}},$$

333 мм > 300 мм – условие не выполняется; следовательно, необходимо производить первую подрывку почвы до прохода зоны опорного давления впереди первого очистного забоя.

Глубина подрывки $U_{\text{нод.1}}^{\text{II}}$ должна обеспечить удовлетворительное состояние выработок при проходе очистного забоя, то есть

$$U_3^{\text{II}} \geq U_{\text{нод.1}}^{\text{II}} \geq U_2^{\text{II}},$$

$$1188 \text{ мм} \geq U_{\text{нод.1}}^{\text{II}} \geq 785 \text{ мм.}$$

Принимаем глубину первой подрывки $U_{\text{нод.1}}^{\text{II}} = 1,0$ м.

Необходимость второй подрывки почвы определяется по формуле (12.27)

$$U_4^{\text{II}} - U_3^{\text{II}} > U_{\text{дон}}^{\text{II}}.$$

Глубина второй подрывки $U_{\text{нод.2}}^{\text{II}}$ определяется с учетом первой подрывки и прогнозируемого поднятия почвы на последующем участке

$$U_{\text{нод.2}}^{\text{II}} \geq U_5^{\text{II}} - U_{\text{нод.1}}^{\text{II}} - U_{\text{дон}}^{\text{II}}.$$

12.4.7. Итоговые выводы

Крепежная система включает:

- рамную крепь КШПУ-11,7 из СВП-27 с шагом установки $L_p = 0,8$ м;
- опорно-анкерное крепление из 5 анкеров длиной 2,4 м в непосредственной кровле и по одному анкеру в боках выработки в непосредственной почве угольного пласта с шагом установки $L_a = 0,8$ м в соответствии с принятой базовой схемой ее поддержания;

– два канатных анкера длиной 6 м, устанавливаемых с шагом $L_{к.а} = 1,6$ м в соответствии с принятой базовой схемой поддержания выработки;

– верхняки рам соединены канатными подхватами с канатными анкерами, а стойки рам – канатными стяжками с периферийными сталеполимерными анкерами в непосредственной кровле и почве.

Охранная система включает:

– два ряда обрезной крепи из деревянных стоек диаметром 10 см;

– один ряд накатных костров размером в плане 0,6×0,8 м.

Эксплуатационное состояние выработки поддерживается одной подрывкой ее почвы глубиной 1,0 м.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Бондаренко, В.И. Аналитико-экспериментальные исследования устойчивости выемочных выработок и расчет параметров крепежной системы [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович и др. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – 178 с.
2. Выгодин, М.А. Облегченные металлоанкерные крепи горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст] / М.А. Выгодин, И.В. Евтушенко // Шахтное строительство. – 1987. – № 7. – С. 23 – 25.
3. Бондаренко, В.И. Геомеханика взаимодействия анкерной и рамной крепей горных выработок в единой грузонесущей системе [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, Ю.Я. Чередниченко, И.А. Ковалевская, и др. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2010. – 174 с.
4. Симанович, Г.А. Управление режимами взаимодействия породного массива с крепью горных выработок на основе регулирования ее деформационно-силовой характеристикой [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Г.А. Симанович. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 1993. – 408 с.
5. Ковалевская, И.А. Геомеханика управления устойчивостью пространственной системы «массив – упрочненные породы – крепь подземных выработок» [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / И.А. Ковалевская. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 349 с.
6. Булычев, Н.С. Механика подземных сооружений [Текст]: учебник / Н.С. Булычев. – М.: Недра, 1982. – 270 с.
7. Баклашов, И.В. Механические процессы в породных массивах сооружений [Текст]: учеб. / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1986. – 415 с.
8. Ковалевская, И.А. Геомеханика взаимодействия беззамковой анкерной крепи с породным массивом [Текст]: монография / И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович. – Днепропетровск: «Системные технологии», 2006. – 104 с.
9. Совершенствование способов охраны подготовительных выработок [Текст]: монография / А.М. Симанович, М.А. Сребный, В.И. Малов, И.Л. Белинский. – Донецк: «Донбасс», 1973. – 121 с.
10. Симанович, А.М. Охрана выработок на глубоких горизонтах [Текст]: монография / А.М. Симанович, М.А. Сребный. – М.: Недра, 1976. – 144 с.
11. Скипочка, С.И. Геомеханика охраны выемочных штреков в неустойчивых породах [Текст]: монография / С.И. Скипочка, А.В. Мухин, В.Г. Черватук. – Днепропетровск: НГА Украины, 2002. – 125 с.
12. Усаченко, Б.М. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса [Текст]: монография / Б.М. Усаченко, В.Я. Кириченко, А.В. Шмиголь. – М.: ЦНИЭИуголь, 1992. – 168 с.
13. Усаченко, Б.М. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизированных породах [Текст]: монография / Б.М. Усаченко, В.П. Чередниченко, И.Е. Головчанский. – К.: Наукова думка, 1990. – 144 с.

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

15. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.Г. Черватюк. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – 236 с.

16. Бондаренко, В.И. Экспериментальные исследования устойчивости повторно используемых выемочных выработок на пологих пластах Донбасса [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович и др. – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – 426 с.

17. А.с. 1411504 СССР, Е 21Д 21/00. Распорный анкер [Текст] / Симанович Г.А., Симанович И.А. (СССР). – 4141292/22-3; заявл. 29.10.86; опубл. 23.07.88, Бюл. № 27. – 3 с.

18. Ковалевская, И.А. Анализ опыта применения анкерных крепей, совершенствования их конструкций и методов расчета параметров [Текст]: монография / И.А. Ковалевская. – Днепропетровск: НПП «Системные технологии», 2000. – 86 с.

19. Ковалевская, И.А. Экспериментальные исследования перемещений опор стоек крепи пластовой выработки [Текст] / И.А. Ковалевская, В.Н. Почепов, А.Р. Мамайкин // Материалы III междунар. науч.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2009. – С. 392 – 397.

20. Протодьяконов, М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. – Ч. 1. Давление горных пород [Текст]: монография / М.М. Протодьяконов. – М.-Л.: ОГИЗ, 1931. – 104 с.

21. Цимбаревич, П.М. Механика горных пород [Текст]: учебник / П.М. Цимбаревич. – М.: Углетехиздат, 1948. – 247 с.

22. Виноградов, В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок [Текст]: монография / В.В. Виноградов. – К.: Наукова думка, 1989. – 192 с.

23. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды [Текст]: монография / В.В. Соколовский. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1942. – 207 с.

24. Руппенейт, К.В. Введение в механику горных пород [Текст]: учебник / К.В. Руппенейт, Ю.М. Либерман. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 384 с.

25. Фисенко, Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок [Текст]: монография / Г.Л. Фисенко. – М.: Недра, 1976. – 272 с.

26. Мухин, И.С. Построение предельных контуров устойчивых откосов [Текст]: монография / И.С. Мухин, А.И. Срагович. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 276 с.

27. Самарский, А.А. Численные методы [Текст]: монография / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1989. – 429 с.

28. Кузнецов, Г.Н. Методы и средства решения задач горной геомеханики [Текст]: монография / Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, Н.А. Филатов и др.; под общ. ред. Г.Н. Кузнецова. – М.: Недра, 1987. – 248 с.
29. Морозов, Е.М. Метод конечных элементов в механике разрушения [Текст]: монография / Е.М. Морозов, Г.П. Никитков. – М.: Издательство ЛКИ / URSS, 2008. – 256 с.
30. Морозов, Е.М. ANSYS в руках инженера: механика разрушений [Текст]: учебное пособие / Е.М. Морозов, А.Ю. Музеймек, А.С. Шадский. – М.: ЛЕНАНД, 2010. – 456 с.
31. Булат, А.Ф. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт [Текст]: монография / А.Ф. Булат, В.В. Виноградов. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2002. – 372 с.
32. Виноградов, В.В. Геомеханика, мониторинг и основы технологии опорного крепления выработок [Текст] / В.В. Виноградов // Уголь Украины. – 2000. – № 9. – С. 7 – 12.
33. Семевский, В.Н. Штанговая крепь [Текст]: монография / В.Н. Семевский. – М.: Недра, 1965. – 327 с.
34. Борисов, А.А. Новые методы расчета штанговой крепи [Текст]: монография / А.А. Борисов. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 134 с.
35. Широков А.П. Расчет анкерной крепи для различных условий применения [Текст]: монография / А.П. Широков, В.А. Лидер, Б.Г. Писляков. – М.: Недра, 1976. – 208 с.
36. Новіков, О.О. Розвиток наукових основ управління стійкістю виробок з використанням анкерних систем [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.02 / О.О. Новіков; [Донецький національний технічний університет]. – Донецьк, 2011. – 36 с.
37. Круковський, О.П. Наукові основи технології опорно-анкерного кріплення гірничих виробок вугільних шахт [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.02 / О.П. Круковський; [Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України]. – Дніпропетровськ, 2012. – 36 с.
38. Ковалевская, И.А. Расчет параметров управления устойчивостью подсистемы «упрочненные породы – крепь подземных выработок» [Текст] / И.А. Ковалевская. – Днепропетровск: НПП «Системные технологии», 2005. – 113 с.
39. Цікра, О.А. Розробка способів підвищення несучої здатності анкерного кріплення при рамно-анкерному підтриманні виробок у нестійких породах [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / О.А. Цікра; [Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України]. – Дніпропетровськ, 2010. – 18 с.
40. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, А.В. Мартовичский, И.А. Ковалевская, В.Г. Черватюк. – Днепропетровск: ТОВ «Лізунов Прес», 2010. – 340 с.

41. Краев, Ю.К. Оперативный способ увеличения несущей способности крепи, взаимодействующей со слабыми породами [Текст] / Ю.К. Краев, М.В. Корнилов // Строительство шахт, рудников и подземных сооружений. – Свердловск: СГИ. – 1988. – С. 39 – 43.
42. Байкенжин, М.А. Разработка способа поддержания пластовых подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт податливой рамно-анкерной крепью [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / М.А. Байкенжин [КазНИИНТИ]. – Алма-Ата, 1987. – 19 с.
43. Симанович, Г.А. Новая конструкция комбинированной рамно-анкерной крепи [Текст] / Г.А. Симанович, А.М. Симанович, С.В. Зиньковский // Шахтное строительство. – 1987. – № 5. – С. 8 – 10.
44. Симанович, Г.А. Метод снижения напряженного состояния материала рамной крепи и оптимизация ее параметров [Текст] / Г.А. Симанович, И.А. Симанович // Известия Вузов. Горный журнал. – 1989. – № 7. – С. 38 – 41.
45. Симанович, Г.А. Определение рациональных параметров крепления выемочных штреков [Текст] / Г.А. Симанович, П.П. Небатов // сб. науч. тр. НГА Украины. – 1998. – №3. – С. 65-70.
46. Симанович, Г.А. Определение нагрузок на крепь выемочного штрека в зоне влияния очистных работ [Текст] / Г.А. Симанович, П.П. Небатов // Науковий вісник НГА України. – 1999. – № 5. – С. 43-46.
47. СНиП II-94-80. Подземные горные выработки. Нормы проектирования [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 272 с.
48. Руководство по размещению, выбору и расчету крепи и защите подземных горных выработок [Текст]. – М.: Стройиздат, 1980. – 374 с.
49. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи [Текст]. – М.: Стройиздат, 1983. – 272 с.
50. Руководство по поддержанию горных выработок на шахтах Западного Донбасса [Текст]. – СПб.: ВНИМИ, 1992. – 51 с.
51. Руководящий нормативный документ Министерства угольной промышленности Украины КД 12.01.01.201-98. Расположения, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания [Текст]. – К.: УкрНИМИ, 1998. – 149 с.
52. СОУ 10.1.00185790.011:2007. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. Стандарт Мінвуглепрому України [Текст]. – Введ. 01.04.2008. – Донецьк: Видавництво ДонВУГІ, 2008. – 114 с.
53. Гребенщиков, В.П. Современное состояние мировой угольной промышленности [Текст] / В.П. Гребенщиков, С.М. Гусев // Уголь. – 2001. – № 12. – С. 13 – 20.
54. Байсаров, Л.В. Геомеханика и технология поддержания повторно используемых горных выработок [Текст]: монография / Л.В. Байсаров, М.А. Ильшов, А.И. Демченко. – Днепропетровск: ЧП «Лири ЛТД», 2005. – 240 с.
55. Гелескул, М.Н. Металлическая и железобетонная крепь подготовительных выработок [Текст] / М.Н. Гелескул. – М.: Углетехиздат, 1958. – 320 с.

56. Егоров, С.И. Обобщение опыта крепления и охраны подготовительных выработок [Текст] / С.И. Егоров, Ю.М. Халимендик, Э.П. Курченко и др. // Уголь Украины. – 2002. – № 5. – С. 19 – 21.
57. Полтавец, В.И. Проведение и охрана выработок на больших глубинах [Текст] / В.И. Полтавец, В.Ф. Компанец, В.А. Полухин // Уголь Украины. – 1999. – № 9. – С. 23 – 26.
58. Ильяшов, М.А. Охрана штреков литыми полосами при разработке пологих пластов средней мощности [Текст] / М.А. Ильяшов, М.П. Зборщик, А.А. Яйцов, В.А. Болбат // Уголь Украины. – 2001. – № 9. – С. 3 – 6.
59. Задавин, Г.Д. Установление параметров анкерной крепи при проведении подготовительных выработок в условиях шахт Карагандинского бассейна [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.15.04 / Г.Д. Задавин; [Карагандинский государственный технический университет]. – Караганда, 2008. – 23 с.
60. Терещук, Р.Н. Состояние и перспективы применения анкерной крепи [Текст] / Р61. Руппель, У. Особенности применения анкерной крепи на высокопроизводительных добычных участках в аспекте международного сравнения [Текст] / У. Руппель, К. Ополони // Глюкауф. – 2000. – № 2(3). – С. 31 – 37.62. Фирхаус, Р. Проходка выемочных штрека прямоугольного сечения с анкерной крепью в зонах повышенного горного давления [Текст] / Р. Фирхаус, А. Арендс // Глюкауф. – 2002. – № 1(2). – С. 23 – 28.
63. Касьян, Н.Н. О перспективах применения анкерной крепи на угольных шахтах Донбасса [Текст] / Н.Н. Касьян, Ю.А. Петренко, А.О. Новиков // Научные труды ДОНТУ. – 2009. – № 10. – С. 109 – 115.
64. Кулешов, Е.С. Оценка состояния выработок с анкерной крепью на шахтах Российского Донбасса (проблемы и решения) [Текст] / Е.С. Кулешов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 2. – С. 174 – 177.
65. Штумпф, Г.Г. Повышение безопасности горных выработок при их креплении анкерной крепью [Текст] / Г.Г. Штумпф, Д.В. Егоров, А.Г. Шендрыгин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 2. – С. 30 – 32.
66. КД 12.01.01.501 – 98. Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги [Текст]. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАНУ, 1999. – 42 с.
67. 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.
68. Развитие научных основ повышения устойчивости горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, А.В. Мартович, И.А. Ковалевская, В.Г. Черватюк. – Днепропетровск: ТОВ «Лізунов Прес», 2010. – 340 с.
69. Бондаренко, В.И. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, А.В. Мартович, А.Ф. Копылов. – Днепропетровск: ТОВ «Дріант», 2010. – 328 с.

70. Кириченко, В.Я. Металлорамные штрековые крепи нового технического уровня [Текст] / В.Я. Кириченко // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2010. – С. 241 – 266.

71. Якоби, О. Практика управления горным давлением [Текст]: монография / О. Якоби. – М.: Недра, 1987. – 566 с.

72. Слесарев, В.Д. Управление горным давлением при разработке угольных пластов Донецкого бассейна [Текст]: монография / В.Д. Слесарев. – М.: Углетехиздат, 1952. – 379 с.

73. Борисов, А.А. Расчет горного давления в лавах пологих пластов [Текст]: учеб. / А.А. Борисов. – М.: Недра, 1964. – 267 с.

74. Черняк, И.Л. Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт [Текст]: учебник / И.Л. Черняк. – М.: Недра, 1984. – 304 с.

75. Савостьянов, А.В. Управление состоянием массива горных пород [Текст]: монография / А.В. Савостьянов, В.Г. Клочков. – К.: УМК ВО, 1992. – 276 с.

76. Черняк, И.Л. Управление состоянием массива горных пород [Текст]: учебник / И.Л. Черняк, С.А. Ярунин. – М.: Недра, 1995. – 395 с.

77. Бондаренко, В.И. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния мелкослоистого породного массива вокруг пластовой выработки. Книга 1. Допредельное деформирование системы «порода – крепь». [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, В.В. Фомичев. – Днепропетровск: НПП «Системные технологии», 2006. – 172 с.

78. Бондаренко, В.И. Геомеханика взаимодействия элементов системы «породный массив – выемочная выработка – охранная конструкция» [Текст]: монография / В.И. Бондаренко, И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, А.И. Коваль. – Днепропетровск: Системные технологии, 2007. – 209 с.

79. Лобков, Н.И. Исследования изменения опорного давления впереди очистных забоев пологих пластов [Текст] / Н.И. Лобков // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ООО «Апекс», 2003. – Вып. № 6. – С. 78 – 80.

80. Исследование скорости подвигания на работу лав [Текст] / Н.И. Лобков, А.К. Носач, Л.Л. Бачурин, Д.Н. Присяжный // Проблемы механики горно-металлургического комплекса. – Днепропетровск: НГУ, 2002. – С. 178 – 180.

81. Оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на вмещающие боковые породы [Текст]: монография / М.А. Ильяшов, Н.И. Лобков, Е.Н. Халимендииков и др. // Уголь Украины. – 2008. – № 8. – С. 11 – 13.

82. Лобков, Н.И. Моделирование характера поведения породного массива над выработанным пространством лав [Текст]: / Н.И. Лобков, А.И. Сергиенко, Л.Г. Сергиенко. – Днепропетровск: Научные труды НГУ. – Вып. № 26. – Том 1. – С. 56 – 65.

83. Лобков, Н.И. Геодинамическое обоснование характера обрушения кровли в очистных забоях [Текст] / Н.И. Лобков, В.В. Порубай // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАНУ, 2004. – Вып. № 7 – С. 181 – 187.

84. Лобков, Н.И. Определение параметров обрушения трудноуправляемой кровли в лавах пологих пластов Донбасса [Текст] / Н.И. Лобков, А.И. Сергиенко, Е.Н. Халимендилов // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк: ИФГП НАНУ, 2009. – Вып. № 12. – С. 113 – 123.

85. Kovalevs'ka, I. Mechanism of the above-coal thin-layered massif of weak rocks in the vicinity of a stope / I. Kovalevs'ka, G. Symanovysh, A. Koval. – Materials of IV International scientific – practical conference «School Underground Mining – 2012» // New geoinformational and technical system in mining. – Netherlands: CRS Press/Balkema. – P. 21 – 26.

86. Ковалевская, И.А. Особенности сдвижения пород надугольной толщи при отработке пластов в Западном Донбассе [Текст] / И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, М.С. Демидов // Материалы IV междунар. науч.-практ. конф. «Школа подземной разработки». – Днепропетровск: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – С. 33 – 43.

87. Ковалевская, И.А. Исследование формирования зоны шарнирно-блокового сдвижения пород кровли в окрестности очистного забоя [Текст] / И.А. Ковалевская, Г.А. Симанович, М.С. Демидов // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Форум гірників». – Дніпропетровськ: НГУ, 2012. – С. 173 – 179.

88. Зборщик, М.П. Охрана выработок глубоких шахт в зоне разгрузки [Текст]: / М.П. Зборщик, В.В. Назимко. – К.: Техніка, 1991. – 248 с.

89. Зборщик, М.П. Механизм сдвижения пород и перераспределения напряжений вокруг выработок, поддерживаемых в обрушенной и уплотненной толще [Текст]: / М.П. Зборщик, В.В. Назимко // Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1991. – Вып. № 73. – С. 48 – 52 .

90. Назимко, В.В. Коэффициент бокового распора обрушенных и уплотненных пород [Текст] / В.В. Назимко // Известия ВУЗов. Горный журнал. – № 10. – 1981. – С. 25 – 27.

91. Зборщик, М.П. Определение коэффициента бокового распора обрушенных пород [Текст] / М.П. Зборщик, В.В. Назимко // Респ. межвед. науч.-техн. сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых». – 1980. – Вып. № 55. – С. 70 – 72.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 МЕТОДОЛОГИЯ СОДЕРЖАНИЯ И СТРУКТУРЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОБЛЕМЫ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК	5
Раздел I. АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ НАПРАВЛЕНИЙ КРЕПЛЕНИЯ И ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК	8
2 ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ГОРНОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	8
2.1.1 Критерии выбора ресурсосберегающих крепежных систем	8
2.1.2 Особенности проявлений горного давления и адаптационные свойства рамно-анкерной крепи	13
2.2 Анализ методов расчета параметров средств крепления и охраны выемочных выработок	18
3 ОПЫТ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК НА ШАХТАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА	23
3.1 Опыт применения анкерных крепей	23
3.2 Анализ состояния крепежных систем	25
3.3 Анализ состояния охранных систем	34
4 ОСОБЕННОСТИ СДВИЖЕНИЯ ПОРОД НАДУГОЛЬНОЙ ТОЛЩИ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ЗАПАДНОМ ДОНБАССЕ	42
4.1 Шахтные исследования перемещений породного контура повторно используемых выемочных выработок	42
4.2 Сдвигение пород надугольной толщи на концевых участках лавы вблизи выемочных выработок	47
5 МЕХАНИЗМ НАГРУЖЕНИЯ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК В СЛОИСТОЙ УГЛЕВМЕЩАЮЩЕЙ ТОЛЩЕ СЛАБЫХ ПОРОД	52
5.1 Механизм нагружения крепи выемочных выработок вне зоны влияния очистных работ	52
5.2 Механизм нагружения крепежной системы впереди очистного забоя в зоне опорного давления	59
5.3 Механизм нагружения крепежной и охранных систем позади очистного забоя	69
Выводы	85

Раздел II. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	
НДС ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ	
ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК МКЭ	
	88
6	ПОСТРОЕНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ
	МОДЕЛЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
	КРЕПЛЕНИЯ И ОХРАНЫ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ
	ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК. ПЕРВИЧНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ
	МОДЕЛЕЙ
	88
6.1	Обоснование геомеханической модели
	повторно используемой выемочной выработки
	88
6.2	Анализ НДС макромоделей слоистого массива
	в окрестности концевого участка лавы и выемочной
	выработки
	91
6.2.1	Анализ вертикальных компонент напряжений
	92
6.2.2	Анализ горизонтальных σ_x компонент напряжений
	96
6.2.3	Анализ горизонтальных σ_z компонент напряжений
	101
6.2.4	Анализ приведенных компонент напряжений
	104
6.2.5	Анализ эпюр полных перемещений углевмещающего
	массива
	107
	Выводы
	110
7	ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА
	И КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ
	ВНЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ
	112
7.1	Горный массив в окрестности выемочной выработки
	113
7.1.1	Анализ вертикальных компонент напряжений
	113
7.1.2	Анализ горизонтальных компонент напряжений
	115
7.1.3	Анализ приведенных компонент напряжений
	118
7.2	Крепёжная система выработки вне зоны влияния
	очистных работ
	120
7.2.1	Анализ вертикальных компонент напряжений
	121
7.2.2	Анализ горизонтальных компонент напряжений
	124
7.2.3	Анализ приведенных компонент напряжений
	126
	Выводы
	129
8	ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ГРУЗОНЕСУЩИХ
	ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЕЖНОЙ СИСТЕМЫ ВПЕРЕДИ
	ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ
	131
8.1	Обоснование геомеханической модели повторно
	используемой выемочной выработки в зоне влияния
	очистных работ
	131

8.2	Исследование НДС массива в окрестности выемочной выработки в зоне опорного давления впереди лавы	133
8.2.1	Анализ вертикальных компонент напряжений	133
8.2.2	Анализ горизонтальных компонент напряжений	137
8.2.3	Анализ приведенных компонент напряжений	139
8.3	Анализ НДС крепежной системы выемочной выработки впереди лавы в зоне опорного давления	142
8.3.1	Анализ вертикальных компонент напряжений	142
8.3.2	Анализ горизонтальных компонент напряжений	146
8.3.3	Анализ приведенных компонент напряжений	149
	Выводы	152
9	ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ НДС ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ ПОСЛЕ ПРОХОДА ЛАВЫ	154
9.1	Методические особенности выполнения вычислительного эксперимента	154
9.2	Анализ НДС близлежащего горного массива	157
9.2.1	Анализ вертикальных компонент напряжений	157
9.2.2	Анализ горизонтальных компонент напряжений	160
9.2.3	Анализ приведенных компонент напряжений	163
9.3	НДС крепежной и охранной систем	166
9.3.1	Анализ вертикальных компонент напряжений	166
9.3.2	Анализ горизонтальных компонент напряжений	169
9.3.3	Анализ приведенных компонент напряжений	171
	Выводы	174
	Раздел III. СХЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЕЖНОЙ И ОХРАННОЙ СИСТЕМ	176
10	КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОВТОРНО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК	176
10.1	Разделение горно-геологических условий по степени сложности повторного использования выемочных выработок	176
10.2	Схемы поддержания выемочных выработок по группам горно-геологических условий	177
11	РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПОДДЕРЖАНИИ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ	185
11.1	Структура и последовательность расчета	185

11.2	Исходные данные для выполнения расчета	186
11.3	Расчет перемещений контура выработки на характерных участках ее поддержания	190
11.4	Расчет размеров свода предельного равновесия и нагрузки на крепежную систему	191
11.5	Расчет нагрузки на охранную систему	193
12	РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СХЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК	195
12.1	Выбор параметров крепежной системы	195
12.2	Выбор параметров охранной системы	197
12.3	Параметры подрывки почвы	201
12.4	Пример расчета параметров крепежной и охранной систем выемочных выработок	202
12.4.1	Горно-геологические условия	202
12.4.2	Порядок определения расчетных значений сопротивления сжатию вмещающих выработку пород	203
12.4.3	Определение смещений породного контура	206
12.4.4	Расчет параметров крепежной системы	208
12.4.5	Расчет параметров охранной системы	211
12.4.6	Параметры подрывки почвы	215
12.4.7	Итоговые выводы	215
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК	217
СОДЕРЖАНИЕ	224

Наукове видання

**Бондаренко Володимир Ілліч
Ковалевська Ірина Анатоліївна
Симанович Геннадій Анатолійович
Вівчаренко Олександр Васильович
Малихін Олександр Володимирович
Гусєв Олександр Станіславович**

**ГЕОМЕХАНІКА НАВАНТАЖЕННЯ
І РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КРІПильНОЇ Й
ОХОРОННОЇ СИСТЕМ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК
ШАХТ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ**

Монографія

Російською мовою

Підписано до друку 18.03.14. Формат 701/290 1/16.
Папір офсет. Друк офсетний. Ум. друк. арк.
Обл.-вид. арк. . Тираж 300 прим. Замовлення №180314.

Видавництво ТОВ «ЛізуновПрес»
49127, м. Дніпропетровськ, вул. Н. Данченка, 30/166
Свідоцтво ДК №3597 від 06.10.2009 р.



БОНДАРЕНКО Владимир Ильич

заведующий кафедрой подземной разработки месторождений Национального горного университета, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники.



КОВАЛЕВСКАЯ Ирина Анатольевна

профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета, доктор технических наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники.



СИМАНОВИЧ Геннадий Анатольевич

профессор кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета, доктор технических наук.



ВИВЧАРЕНКО Александр Васильевич

кандидат технических наук, директор Департамента по вопросам функционирования и реформирования угольной промышленности Министерства энергетики и угольной промышленности Украины



МАЛЫХИН Александр Владимирович

горный инженер, соискатель ученой степени кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета



ГУСЕВ Александр Станиславович

горный инженер, директор ПСП «Шахтоуправление «Першотравенское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»