

На правах рукописи

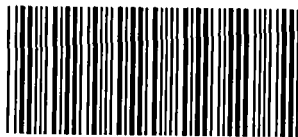
СИНЯКИН Кирилл Геннадьевич



**ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ
ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК
ПРИ ОТРАБОТКЕ ПЕРВООЧЕРЕДНОГО УЧАСТКА
ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных
пород, рудничная аэрогазодинамика
и горная теплофизика*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



4845413

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2011

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования Санкт-Петербургском государственном горном университете.

Научный руководитель –

доктор технических наук, профессор

Протосеня Анатолий Григорьевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук

Зубков Виктор Васильевич,

кандидат технических наук

Лебедев Михаил Олегович

Ведущее предприятие – ООО «Институт Гипрони-кель».

Защита диссертации состоится 27 мая 2011 г. в 13 ч 15 мин на заседании диссертационного совета Д 212.224.06 при Санкт-Петербургском государственном горном университете по адресу: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2 (bogusl@spmi.ru), ауд.3316.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного горного университета.

Автореферат разослан 26 апреля 2011 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
д-р техн. наук, профессор



Э.И.БОГУСЛАВСКИЙ

Актуальность работы.

Яковлевское месторождение КМА по ценности и запасам богатых железных руд, сложности горнотехнических, геологических и гидрогеологических условий является уникальным. Проходка горных выработок под неосушенными водоносными горизонтами сопоставима с ведением горных работ под водными объектами. Необходимость сохранения водозащитных свойств покрывающей рудной и породной толщи обуславливает высокие требования к качеству подготовительных, очистных и закладочных работ. На всех этапах добычи полезного ископаемого должно обеспечиваться эксплуатационное состояние подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ. В этой связи прогноз устойчивости рудных обнажений и выбор типов и параметров крепи выработок, находящихся в зоне влияния очистных работ, является важнейшей задачей, имеющей первостепенное значение для обеспечения безопасной и устойчивой производственной деятельности рудника.

Значительный вклад в исследование процесса деформирования и разрушения пород вокруг горных выработок внесли: Безродный К.П., Булычев Н.С., Картозия Б.А., Огородников Ю.Н., Протодяконов М.М., Руппeneй К.В., Тимофеев О.В., Фотиева Н.Н., Цимбаревич П.М. и многие другие.

Большой вклад в изучение опорного давления и устойчивости подготовительных выработок внесли отечественные ученые Ардашев К.А., Борисов А.А., Галаев Н.З., Долгий И.Е., Зубков В.В., Зубов В.П., Каплунов Д.Р., Козырев А.А., Ковалев О.В., Петухов И.М., Протосеня А.Г., Слесарев В.Д., Смирняков В.В., Трушко В.Л., Черняк И.Л., и др.

Цель диссертационной работы: обеспечение устойчивости подготовительных горных выработок в зоне влияния очистных работ при отработке первоочередного участка рыхлых руд Яковлевского месторождения.

Идея работы: выбор рациональных типов и параметров крепи должен производиться на основе прогноза устойчивости подготовительных выработок, базирующегося на результатах математического моделирования, определяющего особенности

деформирования рудного массива с учетом опорного давления, возникающего при ведении очистных работ.

Основные задачи исследования:

- исследование прочностных свойств образцов закладочного материала;
- расчет опорного давления в рудном массиве при слоевой системе разработки с закладкой;
- проведение натурных наблюдений за устойчивостью выработок на Яковлевском руднике;
- разработка математической модели деформирования рудного массива в зоне влияния очистных работ в условиях Яковлевского рудника;
- выбор параметров крепи подготовительных выработок с учетом дополнительного опорного давления при слоевой системе разработки.

Методы исследований. Определение прочностных и деформационных свойств закладочного массива в лабораторных условиях; натурные наблюдения за проявлением горного давления и состоянием подготовительных выработок; математическое моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) массива, вмещающего подготовительные и очистные выработки, с учетом нелинейных свойств рудного и закладочного массива; сравнительный анализ расчетных величин осадки покрывной толщи с данными натурных измерений.

Научная новизна работы:

- установлены закономерности изменения прочностных и деформационных характеристик закладочного материала в зависимости от времени твердения и величины водонасыщения, которые используются при математическом моделировании;
- выявлены закономерности изменения параметров напряженно-деформированного состояния на границе рудной потолочины и карбоновой толщи при строительстве защитного перекрытия, которые используются для оценки опасности образования вертикальных водопроводящих трещин и проникновения воды в заложенные выработки.

Основные защищаемые положения:

- интенсивное снижение прочностных и деформационных характеристик закладочного массива в результате водонасыщения происходит в течение первых 14-21 суток и составляет для предела прочности на одноосное сжатие - 56%, для модуля деформации – 16% от их от максимального значения, после чего снижение прочности и модуля деформации резко замедляется и к 48 суткам замачивания составляет 57% и 21% соответственно;
- наибольшая величина коэффициента концентрации вертикальных напряжений в зоне опорного давления при отработке первого слоя изменяется от 2,42 до 3,05 и зависит от порядка строительства перекрытия, недозаклада, физико-механических свойств рудного и закладочного массива, а размер зоны влияния опорного давления изменяется от 19 м до 80 м;
- форма и размеры области предельного состояния вокруг выработки и величина нагрузок на крепь должны определяться на основе решения упруго-пластической задачи по конкретным этапам развития очистных работ.

Практическая значимость работы:

- обоснованы рациональные виды и параметры крепей горных выработок, пройденных в зоне влияния очистных работ;
- установлены величины прочностных и деформационных характеристик закладочного массива.

Достоверность и обоснованность научных положений и рекомендаций подтверждается значительным объемом экспериментальных натуральных наблюдений за состоянием подготовительных выработок и очистных заходов; моделированием напряженно-деформированного состояния (НДС) массива, вмещающего очистные работы, при различном порядке проведения с учетом его нелинейных свойств; согласованностью расчетных величин осадки рудной потолочины со смещениями глубинных реперов, полученными в натуральных условиях.

Апробация диссертации. Содержание и основные положения диссертационной работы докладывались на

международной конференции “Проблемы подземного строительства в XXI веке” (Тульский государственный университет, Тула, 2009); конференции молодых ученых в Краковской горно-металлургической академии (2009); ежегодных конференциях молодых ученых и студентов в 2008-2011 (СПГГИ (ТУ) им. Г.В Плеханова, Санкт-Петербург); на заседаниях кафедры Строительства горных предприятий и подземных сооружений СПГГИ (ТУ) и получили одобрение.

Личный вклад автора заключается: в постановке задач исследований, участии в проведении натурных исследований, обработке полученных данных на ЭВМ, анализе натурных данных, создании конечно-элементных моделей для исследования особенностей формирования областей предельного состояния вокруг выработок в зоне влияния очистных работ, выполнении численных экспериментов и разработке практических рекомендаций

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ, из них 5 работ в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России.

Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 4 главы, введение и заключение, список использованной литературы из 101 наименования, 59 рисунков и 37 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В главе 1 выполнен анализ горно-геологических и гидрогеологических условий Яковлевского железорудного месторождения, методов расчета рудной потолочины и оценки устойчивости обнажений. Сформулированы цель и задачи исследований.

В главе 2 представлены результаты комплексного исследования физико-механических свойств закладочного материала в лабораторных условиях и обследования закладочного массива методами неразрушающего контроля в шахтных условиях.

В главе 3 представлены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния массива, вмещающего

подготовительные и очистные выработки при различном порядке их проведения и величине недозаклада.

В главе 4 разработана методика расчета нагрузок на крепь взаимовлияющих параллельных выработок в рыхлом рудном массиве. Даны рекомендации по выбору рациональных типов и параметров крепи.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Интенсивное снижение прочностных и деформационных характеристик закладочного массива в результате водонасыщения происходит в течение первых 14-21 суток и составляет для прочности на одноосное сжатие - 56%, для модуля деформации - 16% от их от максимального значения, после чего снижение прочности и модуля деформации резко замедляется и к 48 суткам замачивания составляет 57% и 21% соответственно.

Условия разработки Яковлевского железнорудного месторождения характеризуются наличием семи водоносных горизонтов в осадочной толще, два из которых являются напорными. Для предотвращения возможности прорыва воды в выработки на Яковлевском руднике разработка ведется под прикрытием рудной потолочины мощностью 65 м. Кроме этого, сооружаются дополнительное защитное перекрытие путем проведения очистных заходок с их последующей закладкой цементно-песчаной смесью с добавлением щебня. Тем не менее отмечены случаи проникновения воды из вышележащих горизонтов в ранее заложенные выработки перекрытия (очистная заходка №6 блока 5 и очистная заходка №13 блока 6). Учитывая потенциальную опасность образования вертикальных водопроводящих трещин в массиве, необходимым является проведение комплекса мероприятий по контролю за его геомеханическим состоянием, включающего наряду с регулярным обследованием выработок оперативный контроль за физико-механическими свойствами закладочного материала.

При решении поставленной задачи был выполнен комплекс экспериментальных исследований прочностных свойств

закладочного материала, включающий проведение испытаний на одноосное сжатие образцов кубической формы, испытания комплексным методом нагружения образцов неправильной формы встречно направленными сферическими инденторами, применение ультразвукового метода неразрушающего контроля закладочного материала в лабораторных и шахтных условиях.

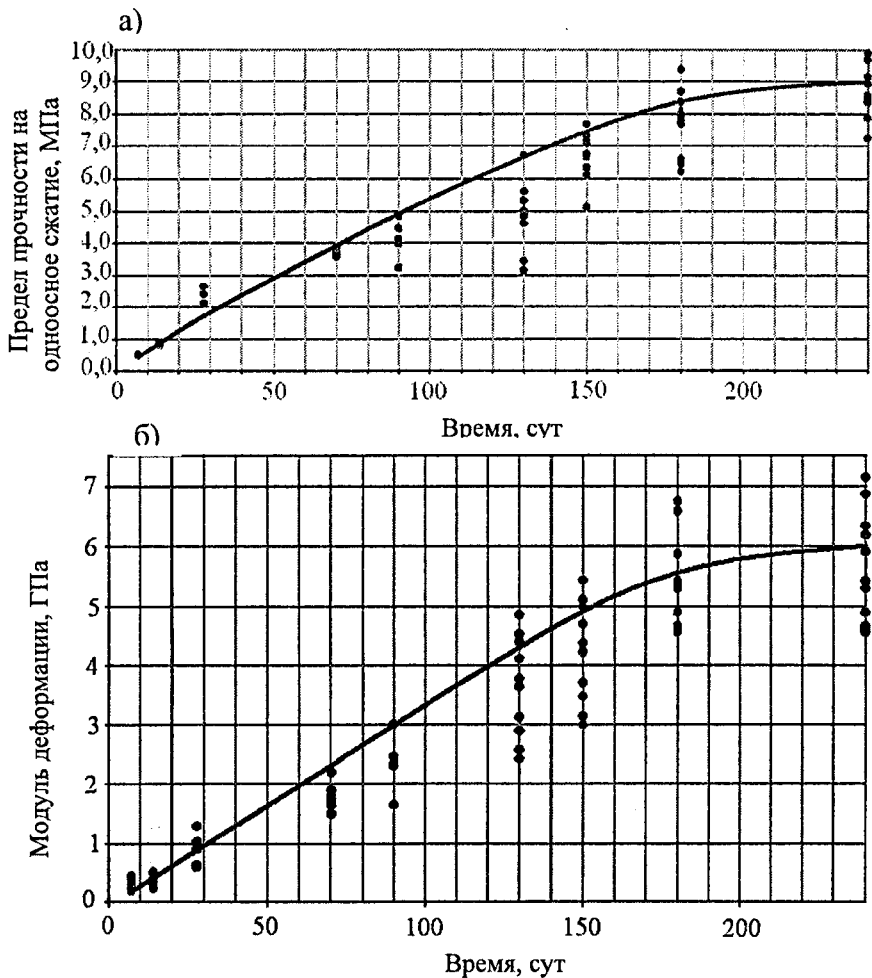


Рисунок 1 - Изменение свойств закладочного массива в возрасте от 7 до 240 дней:
а – предела прочности на одноосное сжатие; б – модуля деформации.

На рис. 1а представлен график изменения прочности при сжатии закладочного материала во времени, построенный по результатам испытаний образцов различной формы.

Экспериментальные точки на графике, соответствующие периоду формирования материала до 90 суток были определены по результатам испытаний на одноосное сжатие образцов кубической формы в лаборатории Яковлевского рудника. Остальные экспериментальные данные соответствуют испытаниям сферическими инденторами образцов неправильной формы с периодом формирования от 130 до 240 суток и были получены в лаборатории физико-механических свойств и разрушения горных пород СПГГИ (ГУ).

Сопоставление полученных данных свидетельствует о существовании единой зависимости роста прочности при сжатии закладочного материала с возрастом для обоих примененных методов испытаний. Установлено, что для закладочного материала характерен неравномерный рост прочности с возрастом. Интенсивное увеличение прочности материала (примерно до 4,7 МПа) завершалось в первые три-четыре месяца формирования материала.

Лабораторные испытания закладочного массива позволили определить следующие физико-механические характеристики:

- естественная влажность закладочного массива:

$$W_{E.B.} = 17,7\%,$$

- водопоглощение закладочного материала:

$$W_{\text{погл.}} = 28,8\%,$$

В результате лабораторных испытаний установлено влияние длительного водонасыщения (48 суток) на следующие физико-механические характеристики закладочного массива:

-прочность на одноосное сжатие – снижение на 57% (рис 2а)

-сцепление – снижение на 41% (рис.2б)

-угол внутреннего трения – снижение на 23% (рис 3а)

-модуль деформации – снижение на 21% (рис.3б)

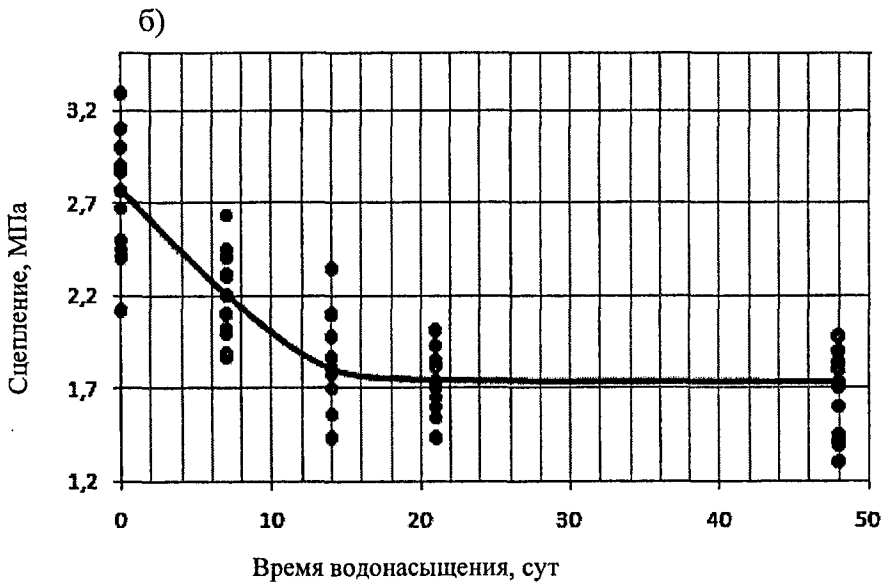
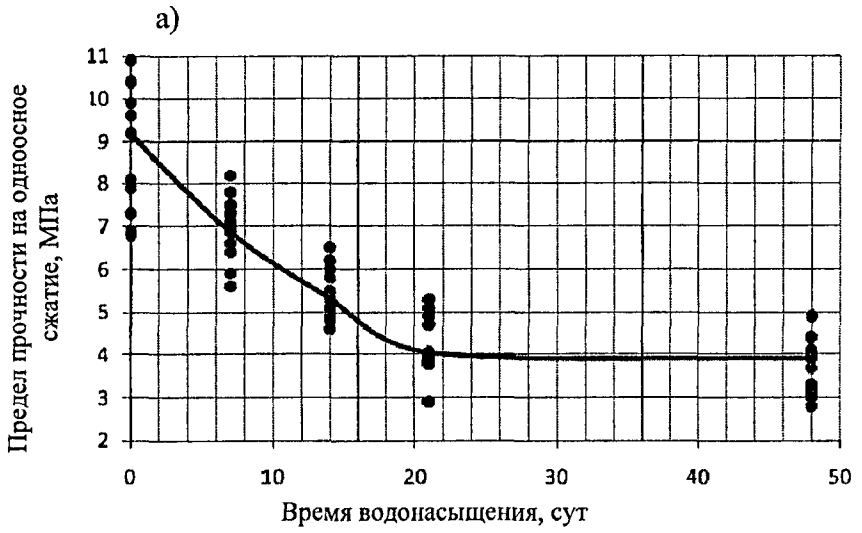


Рисунок 2. График изменения прочности на одноосное сжатие (а) и сцепления закладочного массива (б) от времени водонасыщения.

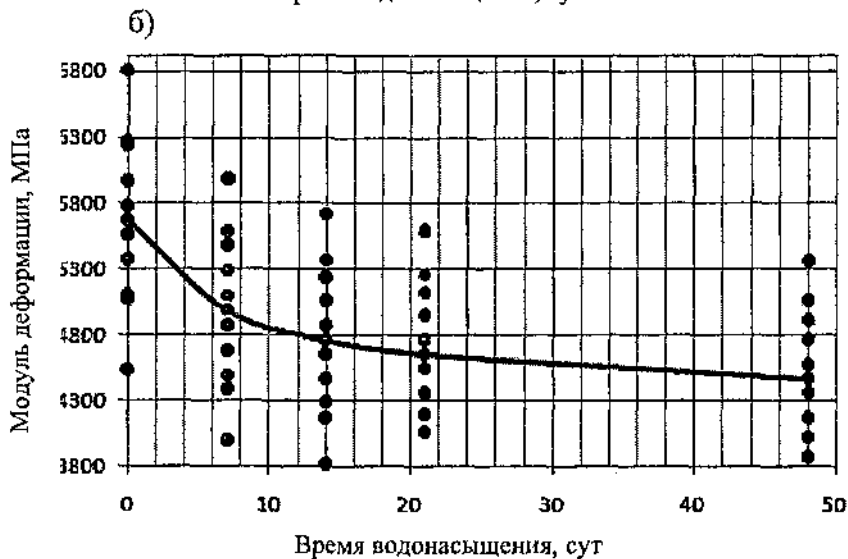
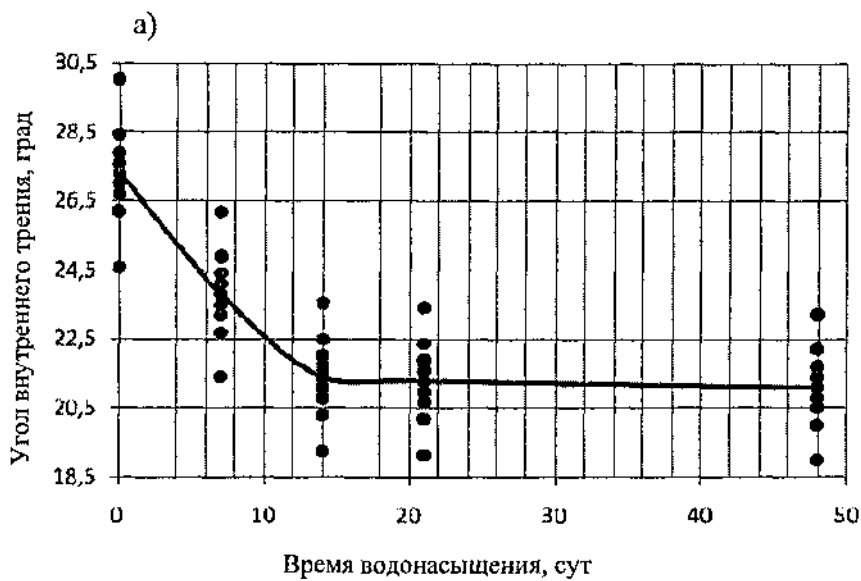


Рисунок 3. График изменения угла внутреннего трения (а) и модуля деформации (б) закладочного массива от времени водонасыщения.

2. *Наибольшая величина коэффициента концентрации вертикальных напряжений в зоне опорного давления при отработке первого слоя изменяется от 2,42 до 3,05 и зависит от порядка строительства перекрытия, недозаклада, физико-механических свойств рудного и закладочного массива, а размер зоны влияния опорного давления изменяется от 19 м до 80 м.*

Исследование напряженно-деформированного состояния массива, вмещающего подготовительные выработки в зоне влияния очистных работ, представляет сложную геомеханическую задачу. Решение подобных задач не имеет точных аналитических решений. Наиболее эффективными методами исследования напряженно-деформированного состояния массива в таких случаях является физическое или математическое моделирование. В диссертационной работе использовалось математическое моделирование с применением метода конечных элементов, которое, несмотря на некоторую идеализацию натуральных условий, имеет существенные преимущества по возможностям исследования.

Целью математического моделирования было изучение влияния недозаклада очистных заходов и количества отработанных слоев на напряженно-деформированное состояние в массиве, вмещающем подготовительную выработку в зоне влияния очистных работ. Для отработки рудного тела принята слоевая система с закладкой выработанного пространства.

Модель представляет собой участок рудного массива размером 950x200 м с подготовительной и очистными выработками. В каждом слое обрабатывается 18 очистных заходов, длина слоя 88,2 м. Моделируется отработка восьми слоев рудного тела.

В модели рудный массив, вмещающий выработки, заменялся нелинейно деформируемой средой с физико-механическими характеристиками маргит-железно-сланцевой, рыхлой руды: модулем деформации $E=2,3 \cdot 10^3$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu=0,25$. Характеристики закладочного материала: модуль деформации закладочного массива принимался согласно графику изменения его во времени, представленному на рис. 1б, коэффициент Пуассона $\nu=0,25$. Предельное состояние рудного массива оценивается условие Кулона со сцеплением 2,5 МПа и

углом внутреннего трения – 25° , сцепление закладочного материала – 2,84 МПа, а угол внутреннего трения – $27,3^{\circ}$

В результате расчетов были получены закономерности распределения зон опорного давления вокруг подготовительной выработки (рис. 4) и в массиве (рис 5).

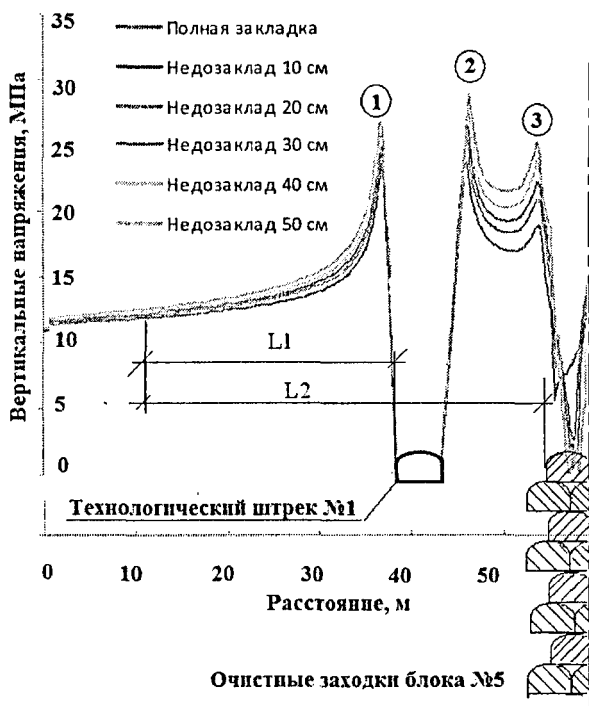


Рисунок 4 - Распределение опорного давления вокруг подготовительной выработки при отработке восьмого слоя: L1, L2 – размер зоны опорного давления, 1,2,3 – максимальные значения вертикальных напряжений.

Для качественного анализа полученных результатов моделирования введены следующие обозначения:

k – коэффициент концентрации вертикальных напряжений, равный $k = \frac{\sigma_{zф}}{\sigma_z}$, где $\sigma_{zф}$ – напряжения в массиве от пройденных выработок, МПа; σ_z – фоновые вертикальные напряжения в массиве на высоте $V/2$ от почвы выработки, МПа. За границу зоны влияния опорного

давления принято такое расстояние от очистного пространства, на котором коэффициент концентрации вертикальных напряжений равен $k=1,1$.

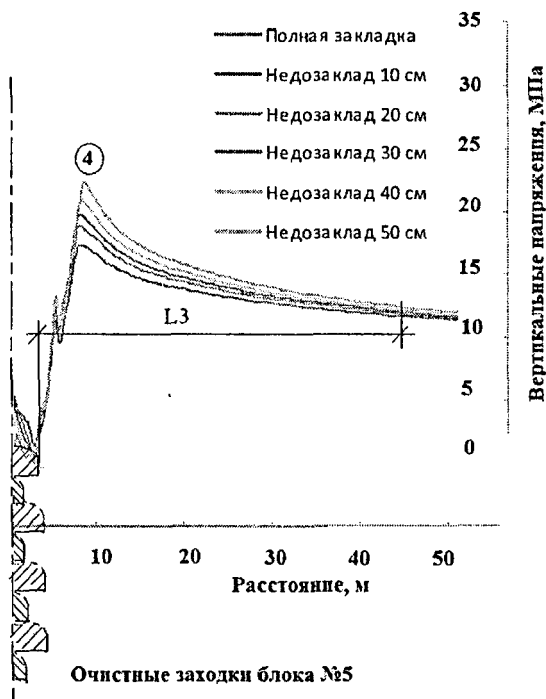


Рисунок 5 - Распределение опорного давления в массиве при отработке восьмого слоя: L3 – размер зоны опорного давления, 4 – максимальные значения вертикальных напряжений.

Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в массиве со стороны очистного пространства после отработки первого слоя является максимальным и составляет $k = 2,4 \div 3,0$ в зависимости от недозаклада. Затем после сооружения второго слоя коэффициент концентрации вертикальных напряжений снижается до значений $k = 1,7 \div 2,3$, отработка третьего слоя влечет за собой некоторое увеличение коэффициента концентрации вертикальных напряжений - $k = 1,83 \div 2,51$, после чего при сооружении

последующих слоев величина коэффициента концентрации вертикальных напряжений незначительно снижается и сохраняет примерно равные значения в следующих диапазонах: 4 слой – $k=1,75 \div 2,36$; 5 слой – $k=1,77 \div 2,37$; 6 слой – $k=1,77 \div 2,30$ 7 слой – $k=1,77 \div 2,29$; 8 слой – $k=1,76 \div 2,26$;

Размер зоны влияния очистных работ при этом варьируется от 19 м ($l_{onl}/L = 0,02$) при отработке первого слоя с полной закладкой очистных заходок до 80 м ($l_{onl}/L = 0,9$) при отработке восьмого слоя с недозакладом 50 см.

3. Форма и размеры области предельного состояния вокруг выработки и величина нагрузок на крепь должны определяться на основе решения упруго-пластической задачи с учетом этапов развития очистных работ.

На рис. 6, 7 представлено формирование и развитие зон неупругих деформаций вокруг технологического штрека №1, находящегося в зоне влияния горных работ очистного блока №5 при различном числе отработанных слоев и наиболее характерных величинах недозаклада очистных заходок (0,3-0,4-0,5 м). Из рисунков следует, что недозаклад является существенным фактором, определяющим деформации рудного массива вокруг выработки.

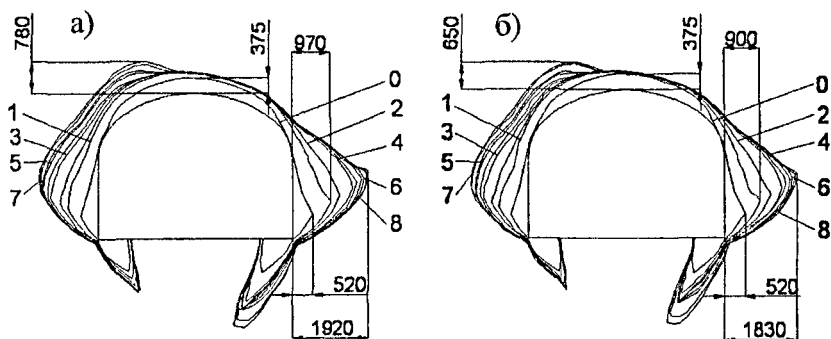


Рисунок 6 - Развитие зон предельного состояния вокруг подготовительной выработки при последовательной отработке 8 слоев рудного тела с недозакладом очистных заходок равным: а - 0,3 м, б - 0,4 м; 0 – одиночная выработка; 1-8 – количество отработанных слоев.

При недозакладе очистных выработок блока №5 величиной 0,3 м площадь зоны неупругих деформаций вокруг подготовительной выработки (рис 5 а) увеличивается на 14% по сравнению с одиночной выработкой при отработке первого слоя и на 32% при отработке восьмого слоя. Зона неупругих деформаций по мере развития очистных работ растет в боках, особенно в боку со стороны очистных работ. При отработке восьми слоев размер зоны пластических деформаций в боку увеличился с 0,52 м ($0,22R_0$) – для одиночной выработки до 1,83 м ($0,76 R_0$) – для восьмого слоя. Зона пластических деформаций в кровле выработки увеличился с 0,375 м ($0,16R_0$) – для одиночной выработки до 0,65 м ($0,27R_0$) – для восьмого слоя. Вершина свода сместилась в сторону противоположную развитию очистных работ.

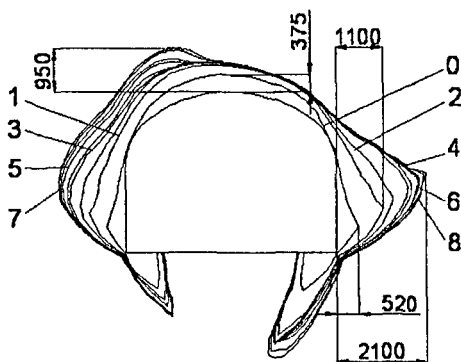


Рисунок 7 - Развитие зон предельного состояния вокруг подготовительной выработки при последовательной отработке 8 слоев рудного тела с недозакладом очистных заходок равным 0,5 м: 0 – одиночная выработка; 1-8 – количество отработанных слоев.

При недозакладе очистных выработок блока №5 величиной 0,4 м площадь зоны неупругих деформаций вокруг подготовительной выработки (рис 5 б) увеличивается на 15% по сравнению с одиночной выработкой при отработке первого слоя и на 39% при отработке восьмого слоя. Зона неупругих деформаций по мере развития очистных работ растет в боках, особенно в боку со стороны очистных работ. При отработке восьми слоев размер зоны

пластических деформаций в боку увеличился с 0,52 м ($0,22R_0$) – для одиночной выработки до 1,92 м ($0,8R_0$) – для восьмого слоя. Высота свода обрушения увеличилась с 0,375 м ($0,16R_0$) – для одиночной выработки до 0,78 м ($0,32R_0$) – для восьмого слоя. Вершина свода сместилась в сторону противоположную развитию очистных работ.

При недозакладе очистных выработок блока №5 величиной 0,5 м площадь зоны неупругих деформаций вокруг подготовительной выработки (рис 6) увеличивается на 16% по сравнению с одиночной выработкой при отработке первого слоя и на 45% при отработке восьмого слоя. Зона неупругих деформаций по мере развития очистных работ растет в боках, особенно в боку со стороны очистных работ. При отработке восьми слоев размер зоны пластических деформаций в боку увеличился с 0,52 м ($0,22R_0$) – для одиночной выработки до 2,1 м ($0,9R_0$) – для восьмого слоя. Высота свода обрушения увеличилась с 0,375 м ($0,16R_0$) – для одиночной выработки до 0,95 м ($0,4R_0$)– для восьмого слоя. Вершина свода сместилась в сторону противоположную развитию очистных работ.

Вертикальная нагрузка на крепь выработки равна весу пород в своде обрушения.

Для определения горизонтальной нагрузки на крепь, необходимо знать размер зоны разрушений в боку выработки, который определяется из решения упруго-пластической задачи и составляет, как было указано выше, $(0,22 - 0,9)R_0$.

С использованием представленных результатов выполнены расчеты параметров крепи подготовительных выработок Яковлевского месторождения в зоне влияния очистных работ. Для сохранения эксплуатационного состояния технологического штрека №1 при отработке следующих очистных слоев рекомендуется уменьшить шаг используемой арочной крепи КМП-А3 из СВП-27 до 0,5 м.

При проведении подготовительных выработок на нижних горизонтах даны следующие рекомендации по выбору типоразмера спецпрофиля и плотности расстановки арок КМП-А3 в зависимости от величины зоны опорного давления:

Таблица 1

Характеристики рекомендуемых типов крепи.

Коэффициент концентрации вертикальных напряжений, $K\sigma$	Типоразмер спецпрофиля	Количество рам на метр
1,1÷1,5	СВП-27	1,0
1,5÷2,0	СВП-27	2,0
>2,0	СВП-33	2,0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи геомеханического обоснования устойчивости горизонтальных выработок в зоне влияния очистных работ, имеющей большое значение для горнорудной промышленности.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Выполнен комплекс исследований закладочного массива в лабораторных и шахтных условиях. Получены закономерности изменения физико-механических свойств закладки во времени и при водонасыщении. При длительном водонасыщении закладочного материала в течении 48 суток выявлено снижение прочности на одноосное на 57 %, прочности на растяжение на 26 %, сцепления на 41%, угла внутреннего трения на 23%, модуля на 21%.
2. Разработана пространственная геомеханическая модель прогноза напряжённо-деформированного состояния рудной потолочины при проведении очистных работ, учитывающая прочностные и деформационные характеристики рудного тела и закладочного массива. Установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния рудной потолочины при проведении очистных работ.
3. Разработана плоская геомеханическая модель прогноза напряжённо-деформированного состояния вокруг подготовительной выработки, учитывающая развитие очистных работ, прочностные и деформационные характеристики рудного тела и закладочного массива,

взаимное расположение выработок и их геометрические размеры.

4. Установлены закономерности изменения и численные значения коэффициентов концентрации напряжений на контуре подготовительной выработки, находящейся в зоне влияния очистных работ.
5. На основе решения упруго-пластической задачи установлены очертание и размеры зон предельного состояния рудного массива вокруг подготовительной выработки с учетом влияния опорного давления.
6. Разработаны рекомендации по выбору типов и безопасных параметров поддерживающих крепей для обеспечения устойчивости горизонтальных выработок в зоне влияния очистных работ.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

1. Синякин К.Г. Оценка вертикальных смещений рудного массива при ведении горно-строительных работ по созданию защитной потолочины // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки, серия: «Науки о земле». Тула, 2009 г., выпуск 4, с. 173-176.

2. Синякин К.Г. Параметры полей напряжений в рудном массиве вокруг подготовительной выработки в зоне влияния защитного перекрытия // Труды 7-й Международной научно-практической конференции «Освоение минеральных ресурсов севера: проблемы и их решения», Воркута, 2009, - с. 174-179.

3. Синякин К.Г. Моделирование напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки при слоевой системе разработки слабых руд // Изв. вузов. Горный журнал. – 2010. – № 8, с. 71-75.

4. Синякин К.Г. Деформации рудного обнажения за крепью КМП-А3 в выработках, пройденных в присечку к закладочному массиву. / Ю.Н. Антонов, В.Ю. Синегубов, А.Б. Максимов, К.Г. Синякин // Труды 8-й Международной научно-

практической конференции «Освоение минеральных ресурсов севера: проблемы и их решения», Воркута, 2010, - с. 174-179.

5. Сиякин К.Г. Моделирование напряженно деформированного состояния рудного массива в зоне влияния очистных работ./ А.Г. Протосеня, К.Г. Сиякин // Записки Горного института. СПб.: СПГИ, 2011, т.189, - с 240-243.

6. Сиякин К.Г. Определение прочностных свойств закладочного материала Яковлевского железорудного месторождения. // Записки Горного института. СПб.: СПГИ, 2011, т.189, - с 244-248.

7. Сиякин К.Г. Naturные наблюдения за осадкой рудной потолочины при ведении горных работ на Яковлевском руднике / А.Г. Протосеня, К.Г. Сиякин, Д.Н. Петров, Г.А. Мартемьянов // Записки горного института. СПб.: СПГИ 2011, т.190, - с 158-162.

РИЦ СПГГИ. 19.04.2011. З.168. Т.100 экз.
199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2