

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии PhD по специальности 6D070700 – «Горное дело»

Съедина Светлана Андреевна

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА ПРИ ЕГО УГЛУБКЕ

История разработки месторождений открытым способом указывает на тенденцию увеличения глубин отработки. В начале XX века горные работы осуществлялись в пределах осадочных пород, максимальная глубина карьеров того времени не превышала 100 м от поверхности, но уже спустя несколько десятилетий максимальные глубины отработки месторождений открытым способом достигали 200-300 м.

Дальнейший рост потребности в минеральном сырье повлек за собой усовершенствование техники и технологий, максимальная глубина ведения горных работ открытым способом стала достигать в отдельных случаях 400 м.

Из-за таких характеристик как высокая эффективность и производительность извлечения полезных ископаемых из недр открытый способ разработки остается лидирующим по процентному соотношению добываемых полезных ископаемых. По данным, приведенным в работах отечественных и зарубежных ученых, около 80 % всех добываемых полезных ископаемых приходится на открытый способ добычи.

Одними из основных вопросов при отработке полезных ископаемых открытым способом являются обеспечение безопасности при ведении горных работ и достижение рациональной отработки месторождений. Увеличение глубины разработки месторождений открытым способом обычно ведет к разному бортов карьера и увеличению объемов вскрыши. Другой вариант вовлечения в отработку глубоких горизонтов карьера без значительного увеличения себестоимости добычи полезного ископаемого является пересмотр первоначального проекта и увеличения конечного угла наклона борта. При этом варианте встает вопрос об обеспечении устойчивости борта карьера и выборе рациональных с точки зрения геомеханики параметров вновь проектируемых уступов на глубоких горизонтах.

Основным условием, необходимым для пересмотра первоначальных проектов отработки месторождений является информация о геомеханическом состоянии массива горных пород, в которой наряду с параметрами напряженно-деформированного состояния и геолого-структурных особенностей месторождения, являются и знания о физико-механических свойствах вмещающих руд и пород.

Разработанные и принятые на предприятиях методики в полной мере не охватывают все проблемы, возникающие при отработке глубоких карьеров. Согласно этим нормативным документам, определение и обоснование

параметров бортов и уступов карьеров должно быть выполнено методом расчета коэффициента запаса устойчивости используя классические методы предельного равновесия. Однако, данные методы не учитывают структурные нарушения массива горных пород, которые оказывают негативное влияние на устойчивость.

Также существующие в настоящее время теоретические подходы к обоснованию устойчивых углов бортов карьеров, как правило, не учитывают реального напряженно-деформированного состояния (НДС) массивов скальных горных пород, полагая, что оно обусловлено только собственным весом вышележащих пород.

При расчете устойчивости бортов по методике 1972 г. во всех схемах учитывается только собственный вес оползневой призмы. В скальных же массивах, где горизонтальные напряжения в большинстве случаев превышают вертикальные, пренебрежение деформациями разгрузки предопределяет возможное развитие аварийных ситуаций при глубинах карьеров более 200 – 250 м. Деформации разгрузки проявляются в деформации массива и возникновении трещин большой протяженности, субпараллельных откосам (трещины бортового отпора). В результате этих процессов начинается расщепление массива на крутопадающие «слои», которые опрокидываются и изгибаются.

Вопрос о необходимости совершенствовании существующих методик по обеспечению устойчивости действующих и проектируемых карьеров рассматривали в своих работах Трубецкой К.Н., Рыльникова М.В., Цирель С.В., Зотеев О.В.

В диссертационной работе применены современные методы анализа и математического моделирования на примере действующего горнодобывающего предприятия. Разработанный алгоритм действий возможен для включения в обновленную методiku по обеспечению устойчивого состояния бортов и уступов глубоких карьеров.

Основание и исходные данные для разработки темы. Основанием для разработки темы диссертационной работы является геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при его углубке для введения в отработку глубоко залегающих руд. В качестве исходных данных для разработки темы исследований выбраны: геомеханические условия крупнейшего действующего железорудного месторождения Казахстана, обрабатываемого открытым способом.

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы. Потребности в минеральном сырье из года в год возрастают, что введет за собой необходимость повышения производственных мощностей горных производств. Месторождения, имеющие простые горно-геологические условия и высокое содержание полезного компонента в рудах уже отработаны или близки к завершению работ. Поэтому современное развитие горнодобывающей отрасли характеризуется усложнением условий производства горных работ из-за увеличения глубины разработки и вовлечения в эксплуатацию месторождений со сложными горно-

геологическими условиями. При увеличении глубины действующих карьеров вопросы устойчивости бортов превращаются в проблемы большой экономической значимости для горных предприятий. В связи с этим обоснование устойчивых параметров бортов и уступов глубоких карьеров открывает новые возможности отработки глубоко залегающих руд для действующих предприятий.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработке, патентных исследованиях и выводы из них определяются полнотой проведенного обзора патентного поиска по проблеме обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, выбором современных методик исследований, программ и методов анализа устойчивости элементов карьеров, системой организацией и проведением натуральных и лабораторных исследований.

В диссертационной работе приведены результаты научного анализа современного состояния научно-технической проблемы и исследований по прогнозированию дальнейших направлений научных разработок в области обеспечения устойчивости бортов и уступов глубоких карьеров. Выявлено, что существующие универсальные методики не включают в себя комплексного подхода при решении проблем устойчивости для глубоких карьеров.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. Достоверность полученных результатов подтверждается применением комплекса физико-механических методов исследования, натуральных измерений структурных особенностей массива, использованием методов математического моделирования устойчивости и напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

При проведении лабораторных и натуральных исследований в рамках данной диссертационной работы были использованы приборы, прошедшие государственную метрологическую проверку в период эксплуатации.

Лаборатория филиала РГП на ПХВ «Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Горного института им. Д.А. Кунаева аккредитована в системе аккредитации Республики Казахстан на соответствии ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». Сертификат о поверке № ВА-03-02-00889 (действителен до 18.09.2019 г.).

В табличных и графических данных использованы единицы измерений, соответствующие метрологическим правилам и нормам Международной системы единиц СИ.

Актуальность темы. В настоящее время на крупных месторождениях полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом, осуществляется переход к отработке глубоких горизонтов. При увеличении глубин обеспечение устойчивости бортов и уступов карьеров является одной из основных задач горного производства.

Прогнозирование деформационных процессов в прибортовой зоне карьеров возможно на основе комплексного подхода к анализу и обобщению

данных, включающих изучение структурно-тектонического строения и прочностных свойств массива, инструментальные наблюдения за деформированием различных участков прибортового массива, оценку напряженно-деформированного состояния, а также проведение геомеханических расчетов устойчивости.

Внедрение цифровых технологий в различные сферы деятельности, позволяет решить многие проблемные вопросы при отработке месторождений полезных ископаемых. «Соколовско - Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» (ССГПО) уже встало на путь развития по программе «Цифровой Казахстан» запустив один из компонентов "Умного карьера" на основе системы диспетчеризации Modular, который позволяет увеличить производительность транспортного оборудования на 10%.

Интеллектуальный («умный») карьер - совокупность систем автоматизированного управления и диспетчеризации процесса добычи полезных ископаемых, направленная на непрерывное улучшение управляемости, снижения издержек и улучшение условий и безопасности труда.

Одним из элементов таких систем управления должно стать создание цифровой геомеханической модели. Такая модель реализуется с помощью современного программного обеспечения, связывающего геологические, прочностные, структурные и геомеханические составляющие карьера в единую базу данных.

Структура базы данных представляет собой группу взаимосвязанных моделей, содержащих оцифрованное пространственно-координатное описание графических элементов (точек, линий, узлов, замкнутых контуров).

Новизна темы заключается в геомеханическом обеспечении устойчивости бортов карьера при его углубке. Выполненный анализ литературных источников в области обеспечения устойчивости бортов и уступов глубоких карьеров позволяет сделать вывод о том, что для современных карьеров характерно усложнение условий производства горных работ из-за увеличения глубины разработки и вовлечения в эксплуатацию месторождений со сложными горно-геологическими условиями. В этих условиях большое значение приобретают вопросы геомеханического обеспечения устойчивости глубоких карьеров. В связи с этим, впервые будет предложен комплексный подход к геомеханическому обеспечению устойчивости бортов карьера при его углубке.

В работе получены следующие новые научные результаты:

- установлены закономерности изменения структурного строения блочного массива (в виде зависимости коэффициента структурного ослабления от величины сцепления горных пород) и физико-механических свойств с увеличением глубины горных работ для Сарбайского карьера по результатам натурных и лабораторных исследований;

- определены зоны возможных деформаций бортов Сарбайского карьера при увеличении глубины его отработки на основе математического моделирования с учетом блочности строения массива и изменения физико-

механических свойств как по площади распространения, так и по глубине залегания пород;

- впервые разработана для Сарбайского месторождения цифровая база данных, состоящая из геологической, структурной, гидрогеологической моделей и результатов математического моделирования устойчивости и напряженно-деформированного состояния, представляющая собой трехмерную геомеханическую модель, на основе которой определены параметры бортов и уступов карьера, обеспечивающие безопасность ведения горных работ при увеличении глубины отработки до 700 метров.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.

Диссертационная работа выполнена в отделе «Геомеханики» Института горного дела им. Д.А. Кунаева в рамках выполнения научно-исследовательской работы по проекту «Проведение НИР по разработке рекомендаций по параметрам бортов и уступов Сарбайского и Южно-Сарбайского карьеров Сарбайского РУ АО «ССГПО», обеспечивающих их устойчивость и разработка Регламентов по устойчивости бортов и уступов Сарбайского, Южно-Сарбайского и объединённого Сарбайского и Южно-Сарбайского карьеров» с 2016 по 2018 гг. и при реализации научно-технической программы № BR05236712 «Технологическая модернизация горных производств на основе перехода к цифровой экономике» в рамках программно-целевого финансирования на 2018-2020 гг.

Цель исследования - геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при его углубке на основе геомеханической модели месторождения, включающей исходные горно-геологические данные, результаты математического моделирования и районирования.

Объектом исследования является Сарбайское железорудное месторождение, разрабатываемое открытым способом.

Предметом исследования являются геомеханические процессы, влияющие на устойчивость бортов и уступов карьера с увеличением глубины отработки.

Задачи исследований, их место в выполнении научно-исследовательской работы в целом:

– проведение лабораторных и натурных исследований массива горных пород, обработка и интерпретация полученных данных;

– математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород и определение коэффициентов запаса устойчивости бортов карьера;

– создание единой базы данных в виде геомеханической модели, которая включает результаты предыдущих и проведенных в диссертационной работе исследований массива горных пород;

– разработка рекомендаций по обеспечению геомеханической устойчивости бортов карьера в зависимости от горно-геологических, гидрогеологических, структурных особенностей месторождения.

Поставленные задачи последовательны и логичны, определяют внутреннее единство научно-исследовательской работы и направлены на достижение поставленной цели исследований.

Методологическая база исследований. К числу основных методов исследований и анализов, применяемых при выполнении диссертационной работы, относятся:

- испытание образцов на одноосное сжатие и растяжение на универсальной испытательной машине (VEB № 282/89);
- определение модуля упругости и коэффициента Пуассона по скорости распространения продольных и поперечных упругих волн в образцах с использованием соответствующей ультразвуковой аппаратуры «Пульсар 2.2»;
- измерение действующих горизонтальных напряжений в прибортовом массиве на основе использования эффекта Кайзера горных пород при нагружении стенок скважины гидродомкратом Гудмана;
- расчет коэффициентов запаса устойчивости методом предельного равновесия способом бокового давления с помощью программы USTO DU;
- расчет коэффициентов запаса устойчивости методом предельного равновесия с помощью программы Slide компании Rocscience;
- расчет устойчивости откоса, основанный на методе редукции (Strength Reduction Method) с использованием метода конечных элементов в программном обеспечении Midas GTS NX;
- методом анализа напряжений (Stress Analysis Method) на основе конечных элементов в программном обеспечении Midas GTS NX;
- трехмерное моделирование напряженно-деформированного состояния методом анализа напряжений (Stress Analysis Method) на основе конечных элементов в программном обеспечении Midas GTS NX.

Положения, выносимые на защиту

На защиту диссертационной работы выносятся следующие положения:

На защиту диссертационной работы выносятся следующие положения:

- состояние устойчивости уступов и бортов Сарбайского карьера предопределяется структурными особенностями и прочностными характеристиками скального массива, изменяющихся с глубиной карьера;
- зоны возможных деформаций, возникающие при увеличении глубины отработки Сарбайского карьера до 700 м, определяются на основе математического моделирования с учетом особенностей пространственной изменчивости физико-технических свойств массива горных пород, как по площади распространения, так и по глубине залегания пород;
- геомеханическое обоснование устойчивости бортов и уступов Сарбайского карьера при его углубке обеспечивается на основе комплексного учета результатов натурных, лабораторных исследований и математического моделирования их состояния, представленных единой цифровой базой данных.

Практическая значимость диссертации заключается в разработке единой базы данных, представленной геомеханической моделью месторождения, на основе которой возможно прогнозирование возникновения

деформационных процессов борта и уступов карьера при его дальнейшей отработке.

Результаты исследований внедрены на Сарбайском карьере АО «ССГПО» о чем получен соответствующий Акт и при выполнении научно-исследовательских работ отдела.

Публикации и апробация работы. Публикации включают четыре статьи в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и МОН РК; одну статью в рейтинговом «Горном журнале» (база Scopus); восемь статей в сборниках международных конференций, форумов и конгрессах.

Основные положения диссертационной работы и результаты проведенных исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на 6 международных научно-практических конференциях: «Горные науки в индустриально-инновационном развитии страны» г. Алматы, «Инновационные технологии в геодезии, маркшейдерии и геотехнике» г. Караганда, «Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук» г. Новосибирск, «Всемирный Горный Конгресс» г. Астана, «Неделя горняка 2018» г. Москва, в том числе на VII Уральском горнопромышленном форуме в секции «Геомеханика в горном деле» доклад автора получил номинацию «Лучший доклад».

Структура и объем диссертации: диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 123 наименований и приложений. Работа изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунков, 28 таблиц.

Во введении представлена общая характеристика работы. Сформулированы актуальность темы, цель и задачи исследования, изложены научные положения, выносимые на защиту и практическая значимость работы.

В первой главе рассмотрено современное состояние изучения геомеханических условий массивов пород с увеличением глубины отработки открытых горных работ; представлена краткая горно-геологическая и гидрогеологическая характеристики объекта исследования; определены основные факторы, влияющие на деформационные процессы.

Объектом исследования в диссертационной работе является Сарбайский железнорудный карьер, проектная глубина которого составляет 700 м. Инженерно-геологические условия отработки Сарбайского карьера сложные, что обусловлено прочностными свойствами пород, структурой массива (большая мощность рыхлых пород до 140 м, наличие поверхностей ослабления: слоистость в рыхлых породах, трещиноватость, сланцеватость в скальных породах), склонностью пород к выветриванию, гидрологическими факторами - обводненностью скальных и рыхлых пород.

Для современного развития Сарбайского месторождения характерно значительное увеличение глубины карьера (до абсолютной отметки дна минус 500 м) и переход к разработке глубоко залегающих руд. При этом встает вопрос об обеспечении устойчивости борта карьера и выборе рациональных с

точки зрения геомеханики параметров вновь проектируемых уступов на глубоких горизонтах.

Основным условием, необходимым для пересмотра первоначального проекта отработки месторождений является информация о геомеханическом состоянии массива горных пород, в которой наряду с параметрами напряженно-деформированного состояния и геолого-структурных особенностей месторождения, являются и знания о физико-механических свойствах вмещающих руд и пород.

Проведенный анализ состояния геомеханических проблем при отработке глубоких карьеров показывает, что проблема устойчивости бортов и уступов карьеров является актуальной. В то же время существующие методики требуют внесения изменений. При обосновании устойчивых параметров глубоких карьеров необходимо учитывать влияние физико-механических свойств пород, гидрогеологические условия, структурные особенности месторождения, влияние напряженно-деформированного состояния.

Цель исследования: Обеспечение устойчивости бортов карьера при его углубке на основе геомеханической модели месторождения, включающей исходные горно-геологические данные, данные, полученные при проведении лабораторных и натурных исследований, результаты математического моделирования и районирования.

Постановка задач диссертационной работы. Применительно к условиям Сарбайского месторождения выполнение работ по обеспечению устойчивого состояния бортов и уступов карьера требует решения следующих задач:

- определить факторы, влияющие на устойчивость бортов карьера при увеличении глубины его отработки;

- провести лабораторные и натурные исследования массива горных пород, обработку и интерпретацию полученных данных;

- выполнить математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород в пределах карьерной выемки;

- определить коэффициенты запаса устойчивости бортов карьера;

- разработать рекомендации по обеспечению геомеханической устойчивости бортов карьера в зависимости от горно-геологических, гидрогеологических, структурных особенностей месторождения;

- представить результаты лабораторных и натурных исследований, математического моделирования и расчетов в виде единой электронной базы данных (геомеханической модели).

Во второй главе представлены результаты проведения инженерно-геологический изысканий, по которым выявлено:

1. По результатам лабораторных испытаний образцов горных пород и руды Сарбайского карьера была замечена изменчивость физико-механических свойств даже в пределах одного литотипа (Рисунок 1), что объясняется

существенным влиянием на них таких факторов как интенсивность трещиноватости, рассланцевание, брекчирование пород, метаморфизм.

2. На основании анализа литологических признаков и физико-механических свойств горных пород месторождения выделено 6 инженерно-геологических элементов: известняки, туфы, туффиты, метасоматиты, диориты, руда.

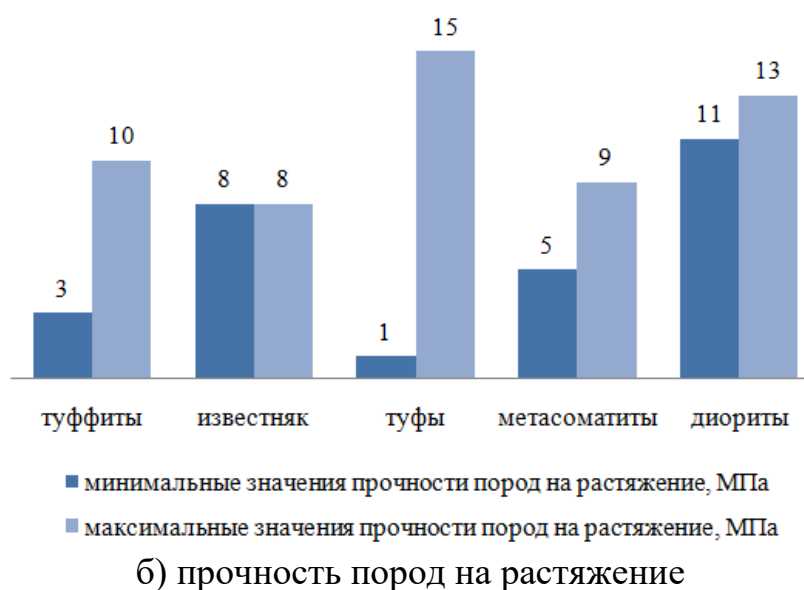


Рисунок 1 - Минимальные и максимальные значения прочности пород по результатам инженерно-геологических изысканий

3. При углубке карьера до абсолютной отметки минус 500 м, наиболее неблагоприятные инженерно-геологические условия будут наблюдаться на восточном борту. Связано это с тем, что борт ориентирован по простиранию Восточного рудного тела и вмещающих его интенсивно трещиноватых туффитов. Породы, залегающие в восточном борту карьера и проявленная в

них 1 система трещин падают в сторону дна карьера под углами 50 - 70°. При постановке борта карьера в конечное положение и заоткоске откосов уступов их углы наклонов будут близки к углам падения 1 системы трещин и при расположении в толще туффитов могут приводить к процессам обрушения.

4. В результате проведенных инженерно-геологических работ для районирования прибортового массива горных пород Сарбайского карьера с учетом углубки до абсолютной отметки минус 500 м выделено 6 систем тектонических трещин скола в первой серии замеров и 5 систем во второй серии. Выявлено, что полностью по параметрам залегания совпадают только 1 и I системы трещин, связанные с естественной слоистостью массива.

5. По анализу результатов обработки трещиноватости выявлено, что потенциальными поверхностями ослабления для Сарбайского карьера могут быть следующие системы трещин:

- для Северного и Северо-восточного бортов карьера – система трещин II-1;
- для Восточного и Юго-восточного бортов – система V;
- для Южного борта – III система трещин;
- для Юго-западного и Западного бортов – I система трещин, также по I', II-2 и III системам вероятно образование призм возможного обрушения.

6. По результатам натуральных замеров параметров трещиноватости получена логарифмическая зависимость коэффициента структурного ослабления от величины сцепления в образце (Рисунок 2).

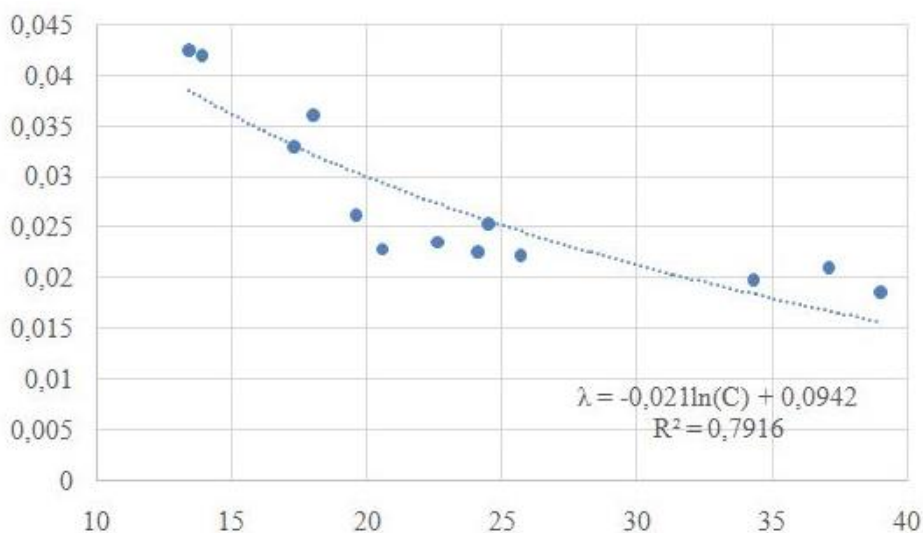


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента структурного ослабления (λ) от величины сцепления в образце (C)

7. По результатам натуральных и лабораторных исследований установлена закономерность структурного строения, физико-механических свойств с увеличением глубины горных работ для Сарбайского карьера (Рисунок 3).

Результаты, полученные в главе 2 необходимы для дальнейшего выполнения математического моделирования устойчивости бортов карьера и

моделирования распределения основных действующих напряжений в прибортовом массиве горных пород.

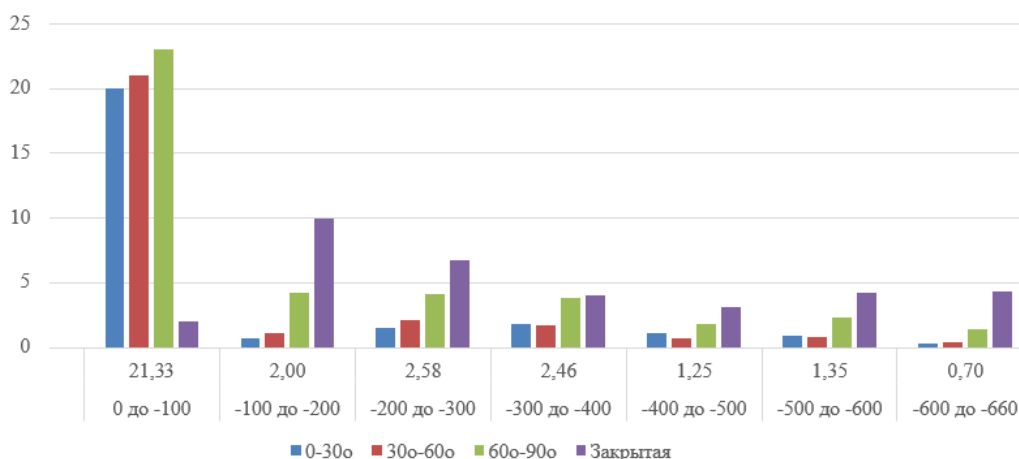


Рисунок 3 - Результаты определения трещиноватости массива горных пород по результатам геологических изысканий

В третьей главе представлены результаты численного моделирования расчета устойчивости бортов карьера двумя методами - методом предельного равновесия (USTO DU и Slide) и методом конечных элементов (Midas GTS NX).

Расчеты устойчивости бортов карьера выполнены по поперечным, продольным и диагональным инженерно-геологическим разрезам (Рисунок 4), которые являются характерными для прибортовой зоны Сарбайского карьера в конечном положении с учетом углубки до минус 500 м с выполнением числового математического моделирования и выявлением потенциально опасных участков.

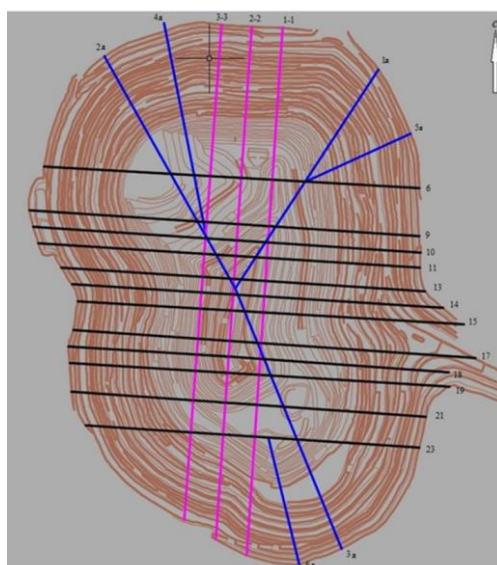


Рисунок 4 - Расположение расчетных профилей

Расчет устойчивости бортов Сарбайского карьера с учетом увеличения глубины отработки до абсолютной отметки минус 500 м тремя различными методами показал, что борта карьера в целом являются устойчивыми, при этом коэффициенты устойчивости варьируются в пределах – от 1,0 до 2,66.

Наименее устойчивые участки находятся на верхних горизонтах карьера. Для скальной части коэффициенты запаса устойчивости по всех расчетным методам показали результаты больше 1, что говорит об устойчивом состоянии массива. Однако имеются участки со значением КЗУ близким к предельно допустимому. Наименее устойчивые участки по результатам математического расчета устойчивости:

1. Верхние горизонты северного борта карьера на отметках от дневной поверхности до + 150 м.
2. Западный борт карьера в пределах 15 – 19 профильных линий в скальной части массива до дна карьера.
3. Восточный борт карьера в пределах 13 – 17 профильных линий на отметках -50/-100 до дна карьера.

При отработке запасов на всех бортах карьера необходимо учитывать наличие обводненной толщи рыхлых пород и глин. Происходит оплывание и обрушение откосов, сложенных меловыми песками, неогеновыми глинами и четвертичными суглинками.

Для этих участков при увеличении глубины отработки рекомендуется:

1. Проведение инструментального мониторинга.
2. При проявлении деформационных процессов по результатам мониторинга проведение дополнительных работ по укреплению уступов на этих участках.

Полученные результаты математического моделирования устойчивости бортов карьера при увеличении его глубины до 700 метров, позволяют определить участки возможных деформаций, которые необходимо внести в единую базу данных, представленную геомеханической моделью.

В четвертой главе представлены результаты натурных измерений напряженно-деформированного состояния (НДС), математического моделирования НДС пород прибортового массива и геомеханическая модель Сарбайского карьера.

Контроль напряжений в прибортовом массиве осуществлялся на основе использования эффекта Кайзера горных пород при нагружении стенок скважины гидродомкратом Гудмана. Измерения напряжений проводились на трех экспериментальных участках. Измерялись горизонтальные напряжения, действующие вдоль борта карьера. Результаты натурального определения горизонтальных напряжений Сарбайского карьера представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Горизонтальные напряжения, действующие на Сарбайском карьере

Абсолютная отметка экспериментального участка, м	Расстояние от устья скважины вглубь массива, м						
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
-240	7,4	5,03	4,92	5,16	4,95	4,5	4,34
-280	7,21	6,52	6,83	4,94	6,37	6,14	5,33
-340	10,28	6,58	7,73	8,14	8,16	8,42	8,83

Расчет напряженно-деформированного состояния производился методом конечных элементов. На рисунке 5 представлен результат расчета горизонтальных напряжений, действующих вкрест простирания рудных тел. Значения максимальных напряжений приконтурного массива достигают 8,5 – 10,5 МПа. Зона концентрации максимальных горизонтальных напряжений расположена в юго-западной части карьера на глубине 700 метров.

Максимальные горизонтальные напряжения, действующие по простиранию рудных тел, достигают значений в 6,8 – 8,4 МПа, значения максимальных вертикальных напряжений – 11,5 – 1,41 МПа.

По результатам математического моделирования напряженно-деформированного состояния Сарбайского карьера выявлено в днище карьера образуются максимальные концентрации напряжений, при этом значения вертикальных напряжений больше, чем горизонтальные в 1,3 и 1,7 раз соответственно для напряжений, действующих вкрест и по простиранию рудных тел.

По результатам объемного моделирования НДС Сарбайского карьера при увеличении глубины его отработки до абсолютной отметки дна карьера минус 500 западный борт в районе разрезов 15 – 18 является наиболее неустойчивым. На этом участке существует вероятность возникновения деформационных процессов.

Для геомеханического обеспечения устойчивости бортов карьера необходим определенный объем исходной информации. Последовательность создания геомеханической модели можно представить, как:

- сбор данных;
- построение геолого-структурной модели. Входная информация представлена прочностными и литологическими данными пород, слагающих данный конкретный массив и его структурными неоднородностями;
- создание и заполнение геомеханической модели.

Созданная геомеханическая модель месторождения состоит из следующих компонентов:

1. Геологической модели.
2. Структурной модели.
3. Модели породного массива (свойства пород).
4. Гидрогеологической модели.

5. Значений НДС и КЗУ по результатам математического моделирования.

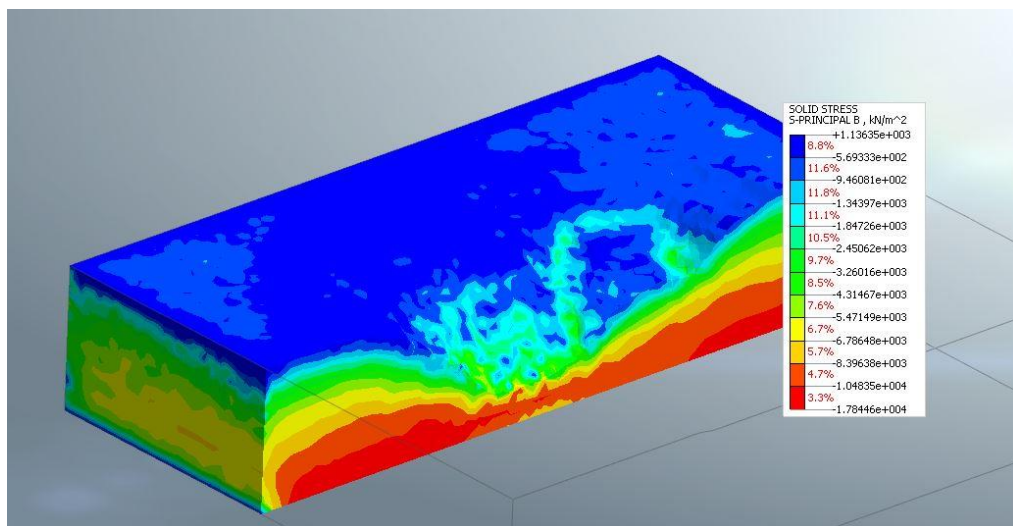
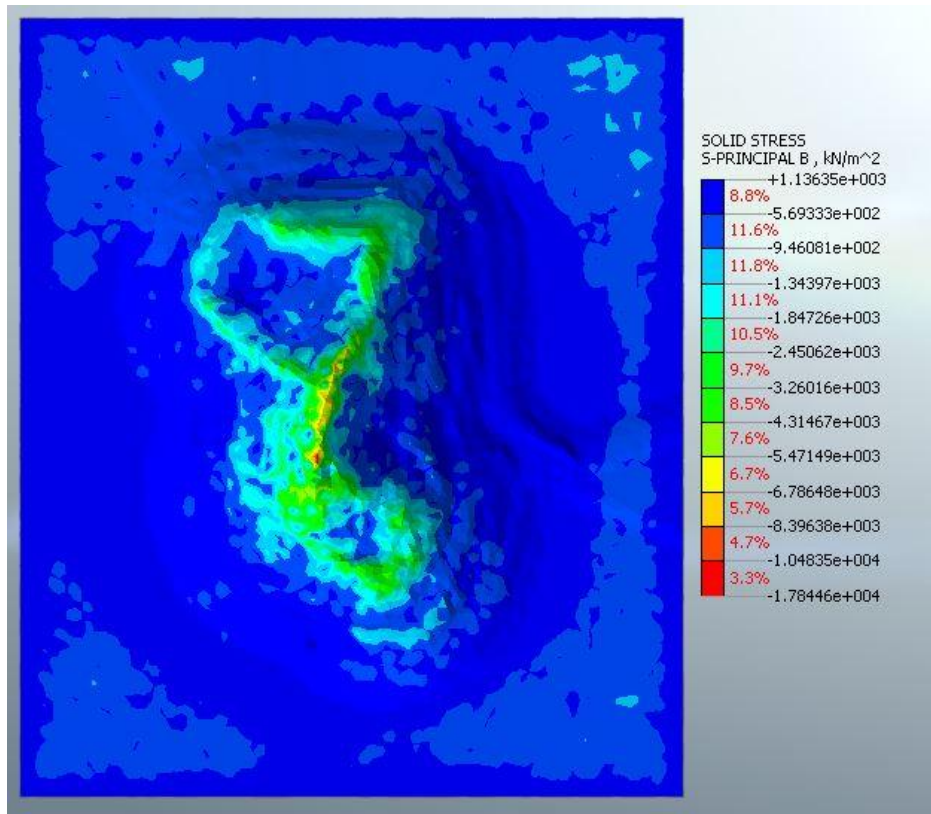


Рисунок 5 – Трехмерное моделирование НДС Сарбайского карьера (горизонтальные напряжения, направленные вкrest простирання рудных тел)

Геомеханические модели позволяют объединить в одной базе данных все параметры, влияющие на безопасность отработки месторождений. На основании комплексного подхода и полноценной классификации горного массива возможно прогнозирование поведения пород при ведении горных работ, что обеспечивает безопасность отработки и полноту извлечения полезных ископаемых из недр.

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований.

В современных условиях наблюдается тенденция увеличения глубин отработки, что в свою очередь негативно сказывается на устойчивости бортов и уступов карьеров. Для эффективного и безопасного функционирования горнорудных предприятий необходима достоверная, оперативная и максимально полная информация о недрах. В диссертационной работе изложены научно обоснованные результаты геомеханического обеспечения устойчивости бортов глубокого карьера на примере действующего предприятия с применением современных программных обеспечений.

Получены следующие наиболее значимые результаты, отражающие научную новизну и практическую значимость:

1. Проведенный анализ современного состояния изучения геомеханических условий глубоких карьеров и горно-геологических условий действующего железорудного карьера показал, что на устойчивость бортов и уступов оказывают влияние следующие факторы - наличие поверхностей ослабления, обводненность, прочностные свойства горных пород.

2. Вмещающие породы Сарбайского карьера имеют различные значения физико-механических свойств при значительном разбросе таких параметров, как сцепление, предел прочности на одноосное сжатие и растяжение, что свидетельствует о значительной пространственной изменчивости свойств в массиве, как по площади распространения, так и по глубине залегания пород, связанные с трещиноватостью массива.

3. По результатам изучения структурного строения массива горных пород выявлены системы трещин, являющиеся плоскостями скольжения и оказывающие неблагоприятное влияние на устойчивость уступов карьера.

4. С учетом данных натурных замеров параметров трещиноватости скального массива на Сарбайском карьере определен коэффициент структурного ослабления ($\lambda=0,02\div 0,04$) и получена логарифмическая зависимость коэффициента структурного ослабления от величины сцепления в образце.

5. Борты карьера по результатам многовариантного численного моделирования устойчивы, однако на трех участках значения, полученных коэффициентов запаса устойчивости находятся в предельно допустимых значениях.

6. По результатам измерения напряженно-деформированного состояния определены горизонтальные напряжения, действующие в прибортовом массиве.

7. По результатам трехмерного моделирования напряженно-деформированного состояния выявлено, что концентрации напряжений находится под днищем карьера. Значения напряжений под днищем карьера достигают 9,5 – 10 МПа, при их величине на той же глубине в окружающем массиве 4 – 4,5 МПа.

8. Впервые для Сарбайского месторождения создана цифровая база данных, состоящей из геологической, структурной, гидрогеологической моделей и результатов математического моделирования устойчивости и

напряженно-деформированного состояния. Полученная база данных представляет собой цифровую геомеханическую модель для обеспечения устойчивого состояния бортов и уступов карьера при увеличении глубины карьера до 700 м.

Результаты диссертационной работы приняты в производство Сарбайским РУ АО «ССГПО», что подтверждается соответствующим Актом внедрения в производственный процесс.

Оценка полноты решения поставленных задач. Таким образом, решены все задачи, поставленные в работе:

- проведены лабораторные исследования физико-механических свойств горных пород для глубоких горизонтов;

- проведены натурные исследования массива горных пород, обработка и интерпретация полученных данных;

- выполнено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива горных пород и определение коэффициентов запаса устойчивости бортов карьера;

- создана единая база данных в виде геомеханической модели, которая включает результаты предыдущих и проведенных в диссертационной работе исследований массива горных пород;

- разработаны рекомендации по обеспечению геомеханической устойчивости бортов карьера в зависимости от горно-геологических, гидрогеологических, структурных особенностей месторождения.

Рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов. Методы и последовательность выполнения исследований возможно применить при выполнении аналогичных работ для других месторождений твердых полезных ископаемых, обрабатываемых открытым способом.

Результаты, полученные в диссертационной работе, использовались при:

- выполнении научно-исследовательской работы между Институтом горного дела им. Д.А. Кунаева и АО «ССГПО» в рамках х/договора «Районирование прибортового массива горных пород Сарбайского карьера по геомеханическим условиям с учетом углубки карьера до абсолютной отметки – 500 м», которая использована при проектировании реконструкции Сарбайского карьера Сарбайского РУ АО «ССГПО».

- реализации научно-технической программы № BR05236712 «Технологическая модернизация горных производств на основе перехода к цифровой экономике» в рамках программно-целевого финансирования на 2018-2020 гг.

Оценка экономической эффективности технологии. При увеличении глубины разработки месторождений открытым способом обычно происходит разнос бортов карьера и увеличение объемов вскрыши. Однако, возможен другой вариант вовлечения в отработку глубоких горизонтов карьера без значительного увеличения себестоимости добычи полезного ископаемого - пересмотр первоначального проекта и увеличения конечного угла наклона борта. При увеличении глубины действующего Сарбайского карьера до 700 м

будут вовлечены в отработку глубокозалегающих руд Сарбайского карьера с отметки минус 390 до отметки минус 500 м.

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области. Выполненный анализ литературных источников, результаты лабораторных, натурных исследований и математического моделирования, представленные в данной работе, позволяют сделать вывод о том, что диссертационная работа соответствует современному научно-техническому уровню.

Приведенные результаты достоверны и представляют научную ценность ввиду применения современных методов натурных исследований, моделирования и анализа, что подтверждено публикациями соответствующих научных трудов автора и обсуждением результатов на международных конференциях различного уровня.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. Мухаметкалиев Б.С., Калюжный Е.С., Съедина С.А., Абдибеков Н.К. Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при увеличении глубины отработки. Горный журнал, №4, 2018 г. АО «Издательский дом «Руда и Металлы». ISSN 00172278. С. 27-32.

2. Съедина С. А., Балтиева А.А., Шамганова Л.С. Инновационные методы наблюдения за деформациями бортов карьера. Вестник КазГАСА, № 3(65), 2017 г., Алматы, ISSN 1680-080X. С. 224-230.

3. Rakishev B.R., Kuzmenko S.V., Sedina S.A., Tulebayev K.K. the analysis of influence of mining-geological factors on edges stability on the example of the Sarbai pit. Доклады НАН РК, №3, 2018 г., Алматы, ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print). С. 19-25.

4. Е.С. Калюжный, Съедина С.А., Асанов В.А., Н.Д. Рахимов. Определение физико-механических свойств горных пород Сарбайского карьера. Горный журнал Казахстана, № 9, 2018 г., Алматы, ISSN 2227-4766. С. 26-29.

5. Жаркимбаев Б.М., Съедина С.А. Выбор рейтинговой классификации для определения характеристик массива горных пород. Горные науки в индустриально-инновационном развитии страны, Том 87 2015 г, Казахстан, Алматы, ISBN 978-601-7093-30-3. С. 150-155.

6. Baltiyeva A.A., Altayeva A.A., Sedina S.A., Shamganova L.S., Tulebayev K.K. Sarbay mining open pit stable state edges geomechanical mintoring using software Usto4DU. 16th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM, Book 2 Vol II, 2016, Bulgaria, ISBN 978-619-7105-59-9. P. 525-530.

7. Шамганова Л.С., Съедина С.А., Балтиева А.А. К вопросу создания геомеханической модели месторождения. Инновационные технологии в геодезии, маркшейдерии и геотехнике, 2017 г., Караганда, ISBN 978-601-315-325-325-4. С. 33-35.

8. Токсаров В.Н., Шамганова Л.С., Бельтюков Н.Л., Ударцев А.А., Съедина С.А. Экспериментальное определение напряжений в массиве горных

пород Сарбайского карьера. Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук, Том 4 № 2, 2017, Россия Новосибирск, ISBN 2313-5794. С. 286-290.

9. Съедина С.А., Балтиева А.А., Шамганова Л.С. Разработка 3D геомеханических моделей для подземных рудников и карьеров. Проблемы недропользования, №1, 2018 г. Россия Екатеринбург, ISSN 2313-1586. С. 60-65.

10. L.S. Shamganova, Sedina S.A., N.O. Berdinova. Development of geomechanical model of open pit for ensuring safe usage. The 25th World Mining Congress 2018. Proceedings. Open-pit Mining. P. 177-185.

11. Sedina S.A., Shamganova L.S., Berdinova N.O. Creation the geomechanical model for deep open-pit. 18th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM, Volume 18 Issue 1.3, 2018, Bulgaria, ISBN 978-619-7408-37-9. P 223-229