

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени К. И. САТПАЕВА

Институт геологии, нефти и горного дела имени К. Турысова

УДК 622.271: 622.83

На правах рукописи


Рахимов Нурлыбек Дюсембекович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

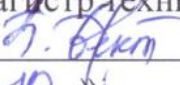
На соискание академической степени магистра

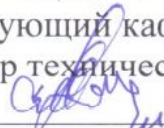
Название диссертации Исследование физико-механических
свойств вмещающих горных пород на
железородных месторождениях

Специальность 7М07203 – Горная инженерия

Научный руководитель
доктор философий «PhD»,
научный сотрудник  Съедина С.А.
« 15 » 06 2021 г.

Рецензент
и.о. Ученого секретаря,
ИГД им. Д.А. Кунаева
кандидат технических наук,
 Адилханова Ж. А.
« 15 » 08 2021 г.

Нормоконтроль
магистр технических наук, лектор
 Б.Бектур
« 10 » 06 2021 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой «Горное дело»
доктор технических наук, профессор
 Молдабаев С.К.
« 15 » 06 2021 г.

Алматы, 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт Геологии, нефти и горного дела имени К.Турысова

Кафедра «Горное дело»

7M07203 - Горная инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Горное дело»
доктор технических наук, профессор

 Молдабаев С.К.

« 15 » 11.06 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту: Рахимову Нурлыбеку Дюсембековичу

Тема: Исследование физико-механических свойств вмещающих горных пород на железорудных месторождениях

Утверждена приказом Ректора Университета № 330 -н от «11» 10_ 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации «26» 05 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: Исследование ФМС горных пород. Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) изучение существующих методов определения физико-механических свойств;
- б) отбор образцов для всех вскрытых литологических разностей;
- в) проведение лабораторных испытаний кернового материала;
- г) анализ полученных результатов исследований.

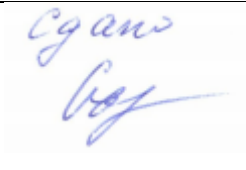
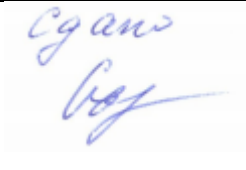
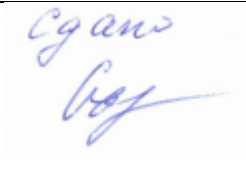
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): нет.

Рекомендуемая основная литература:

1. Борисов А. А., Механика горных пород и массивов. // Издательство «Недра», 1980 г., С. 23-24.
2. Ильницкая Е.И., Определение сопротивления углей сдвигу и разрыву. // Тр. ИГД АН СССР, т. I. Изд-во АН СССР, 1954 г., С. 41-392
3. Тимошенко С. П., Гудьер Дж., Теория упругости. // Издательство «Наука» главная редакция физико-математической литературы., Москва 1975 года.
4. ГОСТ 21153.2-84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии»


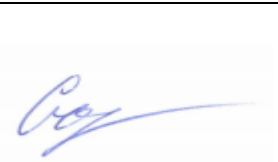
ГРАФИК


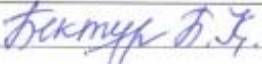

подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Современное состояние изучения физико- механических свойств горных пород	01.03.2021	
Исследование физико- механических свойств горных пород железорудных месторождений	01.04.2021	
Результаты и анализ лабораторных исследований физико- механических свойств горных пород	15.04.2021	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с
указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Современное состояние изучения физико-механических свойств горных пород	Съедина С.А., PhD	15.06.21 г.	
Результаты и анализ лабораторных исследований физико- механических свойств горных	Съедина С.А., PhD	15.06.21 г.	

свойств горных пород железорудных месторождений			
Результаты и анализ лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород	Сьедина С.А., PhD	15.06.21	
Нормоконтролер		10.06.2021г	

Научный руководитель

С.А. Сьедина

Задание принял к исполнению обучающийся

Н.Д. Рахимов

Дата

" 05 " 03 2021 г.



АННОТАЦИЯ

Для контроля состояния горного массива и своевременного решения вопросов, связанных с изменением конструктивных элементов карьера в целях обеспечения безопасности ведения горных работ необходимо понимание геологического и структурного строения массива, знание физико-механических свойств горных пород, а также законы распределения их свойств в пространстве.

Данная работа посвящена изучению физико-механических свойств горных пород на примере действующего горнодобывающего железорудного месторождения предприятия, определению изменчивости свойств в пространстве и изменению свойств с глубиной. На основании проведенного геотехнического бурения получен большой объем образцов для исследования физико-механических свойств горных пород на глубину до 400 метров (абс. отм. минус 270 м), ранее для данного карьера такие масштабные исследования не проводились. Магистерская диссертационная работа выполнена в отделе «Геомеханики» Института горного дела им. Д.А. Кунаева в рамках выполнения научно-исследовательской работы по проекту при реализации научно-технической программы № АР08053358 «Управление горным массивом для обеспечения безопасной отработки месторождения на основе комплексной геомеханической модели» в рамках программно-целевого финансирования на 2020-2021 гг.

Лабораторные исследования горных пород проводились согласно всем нормативным документам и требованиям к качеству получаемых результатов.

Результаты испытания кернового материала горных пород показывают разброс таких параметров, как сцепление, предел прочности на одноосное сжатие и растяжение. Результаты лабораторных исследований скальных пород по определению прочностных свойства железорудного месторождения показывают, что их можно отнести по прочности от средних до весьма прочных.

Установлено, что распределения пределов прочности на сжатие по глубине не подчиняются линейному закону распределения, на что указывают низкие значения коэффициентов корреляции. Выбран наиболее оптимальный закон распределения в виде полиномиальной линии тренда.

Диссертация состоит из введения, трех разделов, выводов и приложений на 65 страницах. В работе приведены 32 рисунок и 6 таблиц. Список литературы включает 16 источника.

АНДАТПА

Тау жыныстарының күйін бақылау және тау-кен жұмыстарының қауіпсіздігін қамтамасыз ету мақсатында ашық құрылымдық элементтерінің өзгеруіне байланысты мәселелерді уақытында шешу үшін тау жыныстарының геологиялық құрылымын, тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерін, сондай-ақ олардың қасиеттерінің кеңістікте таралу заңдылықтарын түсінуіміз қажет.

Бұл жұмыс тау-кен жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерін кәсіпорынның қолданыстағы тау-кен темір кені кен орны мысалында зерттеуге, кеңістіктегі қасиеттердің өзгеруін және қасиеттердің тереңдеген сайын өзгеруін анықтауға арналған. Геотехникалық бұрғылау негізінде тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерін 400 метр тереңдікке дейін (абс. белгі минус 270 м) зерттеу үшін үлкен көлемдегі сынамалар алынды, бұрын бұл карьер үшін мұндай ауқымды зерттеулер жүргізілмеген. Магистрлік диссертация жұмысы Д.А.Қонаев атындағы Тау-кен институтының «Геомеханика» бөлімінде 2020-2021 жылдарға арналған бағдарламалық-мақсатты қаржыландыру аясында № АР08053358 «Интеграцияланған геомеханикалық модель негізінде кен орнын қауіпсіз игеруді қамтамасыз ету үшін тау-кен массивін басқару» ғылыми-техникалық бағдарламаны іске асыру шеңберіндегі орындалды.

Тау жыныстарына зертханалық зерттеулер барлық нормативтік құжаттарға және алынған нәтижелердің сапасына қойылатын талаптарға сәйкес жүргізілді.

Тау жыныстары кен материалдарының нәтижелері, бір өстік қысу беріктігі және созылуға беріктік сияқты параметрлер ауқымын көрсетеді. Темір рудасы кен орнының беріктік қасиеттерін анықтау үшін тау жыныстарын зертханалық зерттеу нәтижелері көрсеткендей, оларды беріктігі бойынша орташадан өте күштіге дейін жіктеуге болады.

Шекті қысым күшінің тереңдікке үлестірімдері корреляция коэффициенттерінің төмен мәндерімен көрсетілген сызықтық таралу заңына бағынбайтындығы анықталды. Ең оңтайлы үлестіру заңы көпмүшелік тренд сызығы түрінде таңдалады.

Диссертация кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындылардан және 65 беттен тұратын қосымшалардан тұрады. Жұмыста 31 сурет және 6 кесте бар. Пайдаланылған әдебиеттер тізіміне 16 ақпарат көзі кіреді.

АННОТАЦИЯ

To monitor the state of the rock mass and timely resolve issues related to changes in the structural elements of the opencast in order to ensure the safety of mining operations, it is necessary to understand the geological and structural structure of the rock mass, knowledge of the physical and mechanical properties of rocks, as well as the laws of the distribution of their properties in space.

This work is devoted to the study of the physical and mechanical properties of rocks on the example of an existing mining iron ore deposit of an enterprise, the determination of the variability of properties in space and the change in properties with depth. Based on the geotechnical drilling, a large volume of samples was obtained to study the physical and mechanical properties of rocks to a depth of 400 meters (absolute mark minus 270 m), previously such large-scale studies were not carried out for this quarry. Master's thesis was carried out in the department of "Geomechanics" of the Institute of Mining named after D.A. Kunaev within the framework of the research work on the project under the implementation of scientific and technical program No. AP08053358 "Rock mass management to ensure safe mining of the deposit based on an integrated geomechanical model" within the framework of program-targeted funding for 2020-2021.

Laboratory studies of rocks were carried out in accordance with all regulatory documents and requirements for the quality of the results obtained.

Rock core test results show a range of parameters such as adhesion, uniaxial compressive strength and tensile strength. The results of laboratory studies of rocks to determine the strength properties of an iron ore deposit show that they can be classified in terms of strength from medium to very strong.

It was found that the distributions of ultimate compressive strength over depth do not obey the linear distribution law, which is indicated by the low values of the correlation coefficients. The most optimal distribution law is chosen in the form of a polynomial trend line.

The dissertation consists of an introduction, three sections, conclusions and appendices on 65 pages. The work contains 31 figures and 6 tables. The list of references includes 16 sources.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	8
1.	Современное состояние изучения физико-механических свойств горных пород	11
1.1.	Методики определения прочностных свойств горных пород	12
1.2.	Обоснование выбора необходимых свойств горных пород для проведения лабораторных исследований	14
1.3.	Виды и объемы выполненных работ	16
2.	Исследование физико-механических свойств горных пород железорудных месторождений	18
2.1.	Геотехническое бурение	18
2.1.1.	Требования к инструментам при ориентированном бурении	18
2.1.2.	Требования к получаемому керну и документированию при геотехническом бурении	20
2.1.3.	Особенности процедуры геомеханического документирования керна	27
2.2.	Методика испытания физико-механических свойств	29
2.2.1	Подготовка образцов к испытанию	29
2.2.2.	Прочность пород при одноосном сжатии и методы ее определения	31
2.2.3.	Прочность пород на растяжение и методы ее определения	33
2.2.4.	Метод раскалывания цилиндрических образцов встречными линейно-распределенными нагрузками («бразильский метод»)	35
3.	Результаты и анализ лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород	37
3.1.	Методики проведенных лабораторных испытаний скальных пород	37
3.1.1.	Определение предела прочности на сжатие и растяжение	37
3.1.2.	Определение сцепления, угла внутреннего трения скальных пород	44
3.1.3.	Определение основных деформационных характеристик	45
3.2.	Результаты и анализ лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород	47
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
	НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	61
	ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	62
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	63
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	64
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б	65

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. С развитием открытой добычи в эксплуатации вводятся месторождения с усложняющимися горно-геологическими условиями, что приводит к необходимости решать новые, все более трудные задачи при оценке устойчивости бортов карьеров [1].

При проектировании горных работ и контроле состояния горного массива необходим комплекс сведений о физико-механических свойствах горных пород. Более того, нужна определенная систематизация горных пород по свойствам для того, чтобы без проведения специальных углубленных исследований можно было бы представлять основные особенности поведения массива горных пород при определенных видах воздействий, и тем самым контролировать и прогнозировать процессы разрушения, происходящие в массиве [2].

Основной исходной информацией для обоснования углов наклона бортов железорудного карьера, при котором обеспечивается его устойчивость и безопасность ведения горных работ является геологическая изученность месторождения, величины показателей физико-механических и прочностных свойств горных пород и породных контактов, а также структурно-тектонических особенностей горного массива, трещиноватости, обводненности, исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород. В связи с дальнейшим увеличением глубины отработки карьера потребовалось проведение дополнительных инженерно-геологических изысканий [3].

С увеличением глубины карьера увеличивается влияние геомеханических факторов на безопасность ведения горных работ. Для эффективного и безопасного ведения горных работ проводят расчеты устойчивости откосов и бортов карьера. Физико-механические свойства оказывают существенное влияние на результаты математического моделирования и как следствие на принятие решений при проектировании и планировании технологических процессов добычи твердых полезных ископаемых из недр. При определении безопасных параметров дальнейшей отработки карьеров принципиальным является вопрос достоверности прочностных характеристик. Для обоснования достоверных физико-механических характеристик пород массива на железорудного месторождения были проведены лабораторные исследования прочностных свойств массива. Основным источником фактического материала, позволяющим оценить геологическое строение, в том числе состояние и свойства пород и руд на железорудного месторождения стал керн скважин, полученный в процессе проходки геотехнических скважин [4].

Цель исследования: Изучение физико-механических свойств горных пород на примере действующего горнодобывающего предприятия, определение изменчивости свойств в пространстве и изменение свойств с глубиной.

Задачи исследования: Применительно к условиям выбранного железорудного месторождения выполнение работ по определению основных физико-механических свойств горных пород требует решения следующих задач:

- рассмотреть существующие методы исследований, выбрать наиболее оптимальный с учетом возможностей существующей лаборатории;
- провести лабораторные исследования горных пород согласно всем нормативным документам и требованиям к качеству получаемых результатов;
- провести математическую обработку полученных данных;
- выполнить интерпретацию полученных результатов.

Научная новизна магистерской работы. На основании проведенного геотехнического бурения (общим метражом 3737 п. м.) получен большой объем образцов для исследования физико-механических свойств горных пород на глубину до 400 метров, ранее для данного карьера такие масштабные исследования не проводились.

Определены физико-механические свойства пород, полученные результаты усреднялись различными способами для нахождения наиболее оптимального для дальнейшего математического моделирования устойчивости бортов карьера и напряженно-деформированного состояния массива.

Установлено, что распределения пределов прочности на сжатие по глубине не подчиняются линейному закону распределения, на что указывают низкие значения коэффициентов корреляции. Выбран наиболее оптимальный закон распределения в виде полиномиальной линии тренда.

Экспериментально-исследовательский корпус

Для выполнений диссертационной работы применялось следующее оборудование;

- камнерезный станок с алмазными дисками САСП – 1;
- шлифовальная машина с кругом по шлифовке торца образцов;
- гидравлический универсальный испытательный пресс (VEB № 282/89) на одноосное сжатие кернового материала;
- динамометр на растяжение образцов с фиксирующими стрелками;
- ультразвуковая аппаратура «Пульсар 2.2» коэффициента Пуассона по скорости поперечных и продольных волн в образцах и определения модуля упругости.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации.

Экспериментальный корпус филиала РГП на ПХВ «Национального центра по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Института горного дела 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 (экспериментальных корпусов)». Сертификат о поверке № ВА-03-02-00889 (действителен до 18.07.2021 года).

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

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Магистерская диссертационная работа выполнена в отделе «Геомеханики» Института горного дела им. Д.А. Кунаева в рамках выполнения научно-исследовательской работы по проекту при реализации научно-технической программы № АР08053358 «Управление горным массивом для обеспечения безопасной отработки месторождения на основе комплексной геомеханической модели» в рамках программы много-целевого финансирования на 2020-2021 гг.

Публикации и апробация работы. По результатам магистерской диссертации опубликовано три статьи («Горный журнал Казахстана»; «Маркшейдерия и недропользование», «Известия НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК Республики Казахстан»).

Структура и объем диссертации: диссертационная работа состоит из введения, 3 глав, заключения, списка использованной литературы из 22 наименований и приложений. Работа состоит из 64 страниц машинописного текста, содержит 31 рисунок, 6 таблиц.

1. Современное состояние изучения физико-механических свойств горных пород

Казахстан представляет собой крупную кладовую полезных ископаемых недр, владеющую все химические элементы таблицы Менделеева. По рудным запасам наша страна может сравниться лишь с двумя государствами – Австралией и Южно-Африканской Республикой. Казахстан занимает ведущие позиции в мире по наличию большинства важнейших для промышленности металлов, как железо, свинец, медь, цинк, уран, золото, марганец, никель и хром.

В мире отношение к сырьевой составляющей национальной экономики не является негативным. А это наглядно видно из того, что из 200 мировых компаний к сырьевому сектору относятся 90, на их же долю приходится более 80% от общего объема производимой реализации продукции. Самыми крупнейшими странами мира, входящими в число лидеров мировых минерального сырья по производительности, являются США, Австралия, ЮАР, Канада, Китай, Россия. Самый высокий уровень экономического развития в большинстве таких сырьевых стран достигнут за счет интенсификации добычи и даже переработки собственных природных ресурсов (Австралия, Канада). Нашу страну можно отнести к сырьевой державе, экономика которой зависит от развития сырьевой сектора. За последнее время в нашей стране был принят ряд законодательных актов в переработки природных ресурсов и в поддержку интенсификации добычи [5].

Изучение механических процессов в горных массивах и решение задач механики горных пород требует знания механических свойств горных пород. При использовании прочностных и деформационных показателей необходимо учитывать особенности структуры горных пород, степень их дислоцированности и четко представлять, что эти показатели не являются абсолютными константами, а лишь функциональными характеристиками. В этом смысле они являются объективными параметрами. По вопросу о механических характеристиках горных пород имеется обширная литература, освещающая теоретическую сторону вопроса, но в основном методы исследований и их результаты на основе главным образом лабораторных испытаний образцов горных пород; натурные же испытание данных характеристик в виду их специфики имеют при этом подчиненное значение. Эти обстоятельства требуют хотя бы краткого освещения сущности вопроса, тем более что в литературе излагаются различные, часто не согласующиеся между собой взгляды. Механические характеристики твердых горных пород определяются: минералогическим составом их компонентов, характером и величинами сил связей между ними; наличием различных дефектов структур в виде различного рода трещин, включений, изменений пористости, наличием ослабленных участков, а также не постоянством сил связей по плоскостям наслоений и трещин. Поэтому свойства горных пород в ряде случаев резко меняются даже в пределах одной пробы, взятой для лабораторных испытаний [6]. Под управлением состояния массива горных (скальных, рыхлых)

пород понимается комплекс всех научных или же технических мероприятий, направленных на достижение оптимальных по нашим параметрам карьерных откосов и бортов, при которых обеспечиваются техническая безопасность ведения горных работ и не зависимости от открытых или же подземных работ и их экономической максимальной эффективности. Состав комплекса этих всех мероприятий определяется природными, горнотехническими условиями разработки месторождений полезных ископаемых. При этом критериями оптимальности могут служить с минимальными затратами или же максимальной прибыли, с учетом всех возможных посчитанных данных в условиях равного устойчивых вариантов формирования бортов, открытого месторождении с различными углами наклона их искусственного укрепления и при различных способах горных работ.

Перед тем как отработать запасы, нужно на всех бортах месторождении учитывать имеющие глинистых и рыхлых пород и в них наличие обводненной толщи горных пород. В горном производстве на бортах карьера происходит оплывание, иногда и обрушение откосов так как этот откос борта сама по себе не с природных явления, а сделано под влиянием человеческого фактора, и они сложены меловыми песчаными породами, глинами и суглинками составляющих в природе множество других неустойчивых рыхлых горных пород.

1.1 Методики определения прочностных свойств горных пород

Зарубежными и отечественными учеными разработано большое количество методик и приборов для изучения физико-механических свойств горных пород в лабораторных условиях.

Исследование свойств горных пород как объектов, с которыми связано горное дело, началось в нашей стране с работ профессора, доктора технических наук М. М. Протодяконова (старшего), предложившего еще в самом начале XX века для характеристики устойчивости, добываемости, буримости, зарубаемости и. т. д. коэффициент крепости горных пород [7].

Как выяснилось, за последнее десятилетие, несмотря на кажущуюся простоту экспериментального определения прочности образцов горных пород путем одноосного сжатия, величина этого показателя зависит от ряда факторов, связанных с природным несовершенством строения и структурными особенностями горных пород, таких, как: неоднородность петрографического состава (в соли имеются включения песчаника, ангидрита, мергеля) величина и форма слагающих породу минеральных частиц (связаны ли минеральные зерна или они спаяны как ким-либо цементирующим веществом, сложена ли порода из кристаллов или аморфного вещества), слоистость, наличие видимых и невидимых трещин тектонического и эксплуатационного происхождения [8].

Изготовление образцов правильной геометрической формы наряду с большой трудоемкостью связано также с длительностью операции, с применением квалифицированного труда и громоздкого оборудования. Более того, из многих слабых и трещиноватых пород практически невозможно изготовить образцы правильной геометрической формы. Они разрушаются еще в процессе их изготовления [9].

Вместе с тем прочность образцов в значительной степени зависит также от условий и техники проведения испытаний: формы и размеры образцов, чистоты обработки их поверхности, соотношения между размерами образцов, скорости приложения нагрузки, трения на торцах образцов, контактирующих с давящими плитами пресса, эксцентриситета передачи нагрузки, напряженного состояния, граничных условий, способа передачи нагрузки на образец и др. [8].

Показатели прочности образцов, полученные методом раздавливания призм или цилиндров, не характеризуют истинных прочностных свойств материала. При сжатии фактически получается неоднородное напряженное состояние материала из-за влияния касательных напряжений, возникающих в результате трения по торцам образца. В этом случае в результате испытания в действительности оценивается несущая способность образца заданных размеров и формы. Поэтому при исследованиях обычно ищут такие размеры и формы образцов, при которых прочность на сжатие совпадает с истинным пределом прочности. Однако степень приближения к истинному пределу прочности остается все же неизвестной в связи с зависимостью результатов испытаний от многих трудно учитываемых факторов: трения по торцам образца, структуры материала, геометрических размеров образца и др. При раздавливании образца на прессе без уничтожения (или уменьшения) трения по торцам определяются некоторые значения $\sigma_{1сж}$. Наличие трения приводит к тому, что в поперечном сечении образца у торцов появляется напряжение сжатия. Вследствие нарушения однородности напряженного состояния образца предел прочности на сжатие $\sigma_{1сж}$, определяемый при испытании, становится более высоким, чем истинный предел прочности $\sigma'_{сж}$ материала. Уменьшение трения по торцам приводит к снижению абсолютного значения предела прочности образца и приближает его к пределу прочности материала. При некотором трении по торцам, связанном с внутренним трением материала, прочность образца на сжатие сравнивается со значением предела прочности материала $\sigma'_{сж}$. Однако это будет только в случае правильного выбора размеров и формы образцов. При дальнейшем уменьшении трения по торцам образцов пригрузочные на напряжения сжатия по торцам изменят знак, в связи с чем наряду со сжимающими напряжениями вдоль продольной оси образца появятся растягивающие напряжения [10].

Так как расчет сил трения по торцам образца и выбор необходимых размеров в образце в каждом отдельном случае являются очень сложной задачей, целесообразно брать значение истинного предела прочности на сжатие непосредственно из паспорта прочности материала [11].

Обозначение для сил и напряжений. Существует два вида внешних сил, которые могут воздействовать на тело. Силы, распределенные по поверхности тела, такие, как давление одного тела на другое или гидростатическое давление, называют поверхностными силами. Силы, распределенные по массе тела, такие, как силы тяжести, магнитные силы или (в случае движения тела) силы инерции, называют массовыми силами [12].

1.2 Обоснование выбора необходимых свойств горных пород для проведения лабораторных исследований

При определении безопасных параметров дальнейшей отработки карьеров принципиальным является вопрос достоверности прочностных характеристик. Для обоснования достоверных физико-механических характеристик пород массива карьера проводят лабораторные исследования прочностных свойств массива. Основным источником фактического материала, позволяющим оценить геологическое строение, в том числе состояние и свойства пород и руд месторождения является керн скважин, полученный в процессе проходки геотехнических скважин [4].

При проектировании горных работ и контроле состояния горного массива необходим комплекс сведений о физико-механических свойствах горных пород. Более того, нужна определенная систематизация горных пород по свойствам для того, чтобы без проведения специальных углубленных исследований можно было бы представлять основные особенности поведения массива горных пород при определенных видах воздействий, и тем самым контролировать и прогнозировать процессы разрушения, происходящие в массиве [4, 2].

Основной исходной информацией для обоснования углов наклона бортов карьера, при котором обеспечивается его устойчивость и безопасность ведения горных работ является геологическая изученность месторождения, величины показателей физико-механических и прочностных свойств горных пород и породных контактов, а также структурно-тектонических особенностей горного массива, трещиноватости, обводненности, исследования напряженно-деформированного состояния массива горных пород. В связи с дальнейшим увеличением глубины отработки карьера потребовалось проведение дополнительных инженерно-геологических изысканий [4, 3].

Физико-механические свойства (ФМС) горных пород являются основой для многих исследований при разработке месторождений полезных ископаемых. На основе полученных в лабораторных условиях результатов выбирают оптимальный вид взрывчатых веществ (ВВ), схему бурения скважин, расчет устойчивости уступов и борта в целом.

Основой для определения ФМС служит керн, полученный в результате геологоразведочного и геотехнического бурения (ориентированный керн).

Современное программное обеспечение (ПО) для расчета устойчивости и моделирования напряженно-деформированного состояния предъявляет ряд требований к минимальному объему определяемых свойств вмещающих пород. На рисунках 1 и 2 приведены примеры наиболее широко применяемых программ для геомеханических расчетов (Slide, Phase 2).

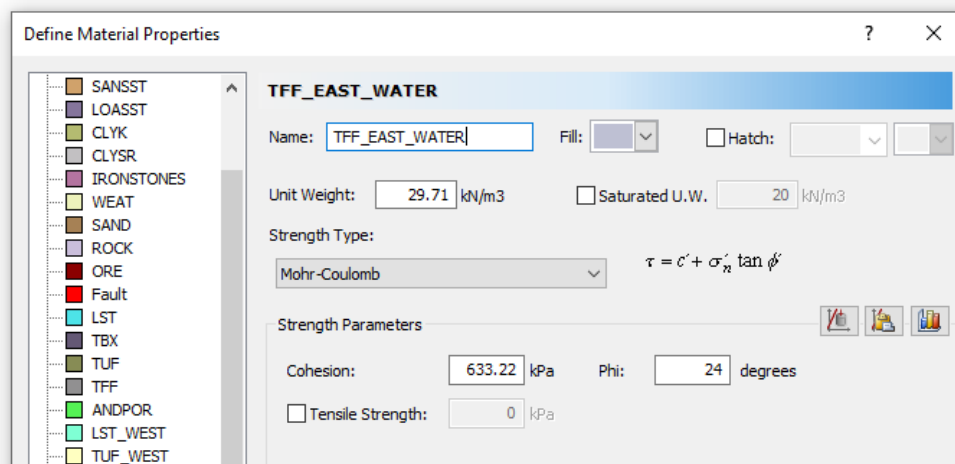


Рисунок 1 – Параметры ФМС для расчета устойчивости в программе Slide

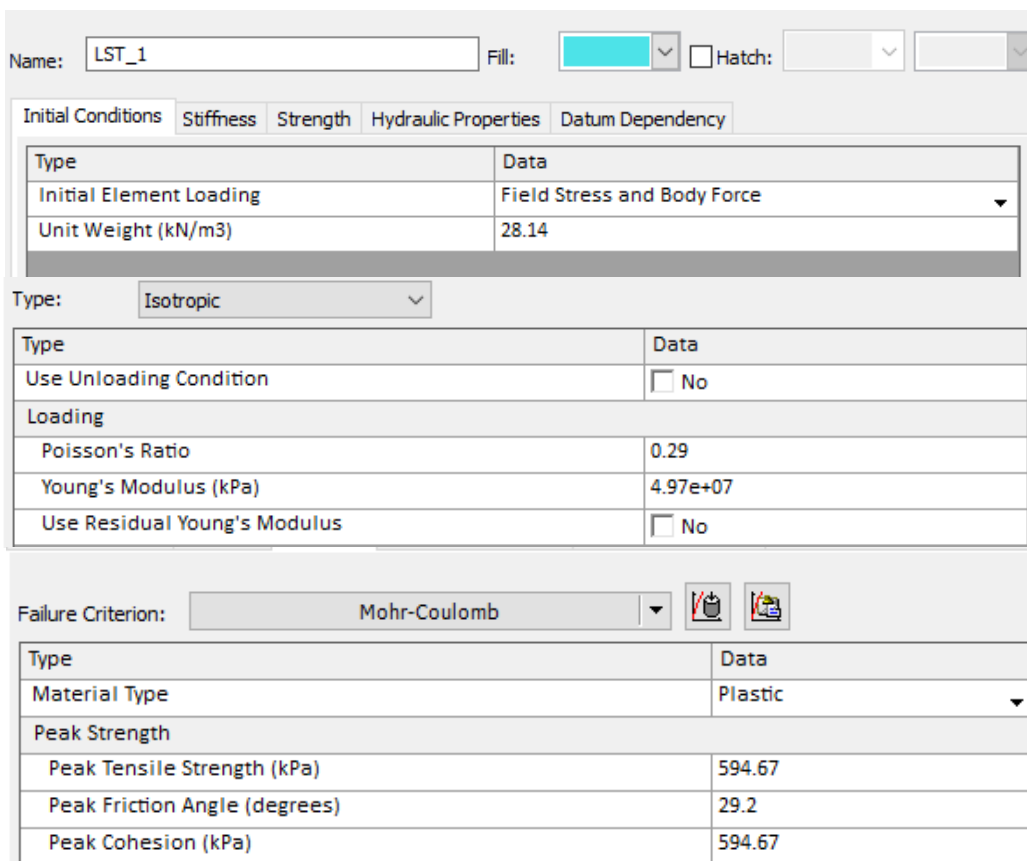


Рисунок 2 – Параметры ФМС для расчета устойчивости в программе Phase 2

Существует определенная последовательность работ по определению свойств пород:

- На одноосное сжатие;
- Прямое растяжение или же Бразильский метод;
- Трещиноватость;
- Пористость;
- Испытание на устойчивость влажным методом;
- Предел прочности породы на сдвиг;
- Ультразвуковое прозвучивание;
- Построение паспорта прочности (круги Мора);
- Метод Хука-Брауна;
- Сцепление;
- Угол внутреннего трения;
- Коэффициент Пуассона и. т. д.

1.3 Виды и объемы выполненных работ

Были проведены лабораторные исследования прочностных свойств массива для обоснования достоверных физико-механических характеристик пород массива железорудного карьера. Основным источником фактического материала, позволяющим оценить геологическое строение, в том числе состояние и свойства горных пород и руд железорудного карьера стал ориентированный керн скважин общим метражом 3737 п. м.

Лабораторные работы по исследованию проб скальной части керна скважин исследуемого (изучаемого) участка проводились в лаборатории ИГД им. Д. А. Кунаева

По своим физико-механическим свойствам довольно четко отличающиеся, в геологическом строении месторождения участвуют следующие комплексы пород: крепкие, средней крепости горных пород и слабые, представленные глинистыми породами коры выветривания палеозойских пород покровными и мезокайнозойскими породами;

Выбранный в качестве объекта исследования карьер характеризуется наличием комплекса рыхлых с подчиненным развитием полускальных пород и скальных горных пород. В среднем 40 – 50 метров составляет мощность рыхлого отложения.

Прочностные и физико-механические свойства порфиритов и известняка железорудного карьера по данным 1972 г. геологоразведочных работ в таблице 1. Других скальных пород прочностных характеристик не определялись.

Таблица 1 – Физико-механические свойства скальных пород железорудного карьера (по результатам геологоразведочных работ 1972 г.)

Наименование по казателей	Известняк		Порфирит	
	<u>От – до</u> <u>среднее</u>	Количество о пределен	<u>От – до</u> <u>среднее</u>	Количество о пределен
Объемный вес кг/см ³	<u>2,61-2,76</u>	26	2,52-3,28	52
Пористость, %	0,0-3,83	26	0,0-15,79	68
Коэффициент крепости	0,0-0,038	26	0,0-0,188	68

2. Исследование физико-механических свойств горных пород железорудных месторождений

2.1 Геотехническое бурение

2.1.1 Требования к инструментам при ориентированном бурении

Для отбора керна используется специальный породоразрушающий инструмент – бурильные головки (ГОСТ 21210) и керноприемные устройства (ГОСТ 21949) [13].

Бурголовка, разрушая породу по периферии забоя, оставляет в центре скважины колонку породы (кern), поступающую при углублении скважины в керноприемное устройство, состоящее из корпуса и керноприемной трубы (керноприемника). Корпус керноприемного устройства служит для соединения бурильной головки с бурильной колонной, размещения керноприемника и защиты его от механических повреждений, а также для пропуска бурового раствора к промывочным каналам бурголовки. Керноприемник предназначен для приема керна, сохранения его во время бурения от механических повреждений и гидроэрозионного воздействия бурового раствора и сохранения при подъеме на поверхность. Для выполнения этих функций в нижней части керноприемника устанавливаются кернорватели и кернодержатели, а сверху клапан, пропускающий через себя вытесняемый из керноприемника буровой раствор при заполнении его керном [14]. Таким образом извлекают керновый материал из скважины.

По способу установки керноприемника в корпусе ГОСТ 21949 «Устройства керноприемные» предусматривает изготовление керноприемных устройств как с несъемными, так и со съемными керноприемниками. При бурении с несъемными керноприемниками для подъема на поверхность заполненного керноприемника необходимо поднимать всю бурильную колонну. При бурении со съемным керноприемником бурильная колонна не поднимается. Внутри колонны на канате спускается специальный ловитель, с помощью которого из керноприемного устройства извлекают керноприемник и поднимают его на поверхность. При помощи этого же ловителя порожний керноприемник спускают и устанавливают в корпусе [13].

В настоящее время разработан целый ряд керноприемных устройств с несъемными керноприемниками «Недра», «Кембрий», «Силур» предназначенных для различных условий отбора керна и имеющих аналогичную конструкцию. Для керноприемных устройств изготавливают шарошечные (рис. 3), алмазные (рис.4), лопастные и ИСМ бурголовки, предназначенные для бурения в породах различной твердости и абразивности. ГОСТ 21210 предусмотрено выпускать шарошечные и лопастные бурильные головки диаметрами от 76,0 до 349,2 мм. Пример условного обозначения бурголовки для керноприемных устройств без съемного керно

приемника (К) с наружным диаметром $D_n = 212,7$, внутренним диаметром $D_v = 80$ мм для бурения мягких пород: К212,7 / 80 М ГОСТ 21210-75 [14]. Для бурения скальных пород с внутренним диаметром 42 мм.



Рисунок 3 – Шарошечные бурголовки

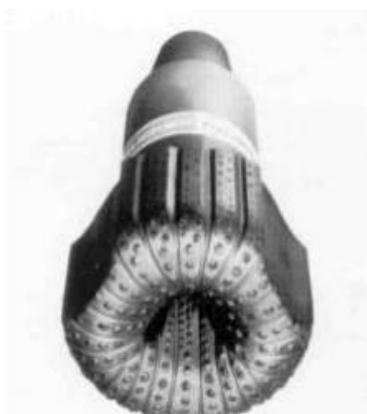


Рисунок 4 – Алмазная бурголовка

Монтаж и подготовка бурового оборудования к работе подразумевают предварительное выравнивание площадки, необходимой для размещения оборудования, инструмента и материалов, оборудования резервуаров для хранения очистного агента и выполнения других видов работ. Сложность монтажных и транспортных работ возрастает по мере увеличения глубины скважины. Разрушение породы может быть объемным, усталостным и поверхностным (поверхностное истирание). Объемное разрушение наиболее эффективно и лучше всего реализуется при бурении хрупких пород, в которых при превышении предела прочности на сжатие мгновенно возникает сеть микротрещин. При усталостном разрушении (твердые непластичные породы) трещины образуются после многократного воздействия на породу, и поэтому эффективность разрушения существенно ниже. Наиболее неблагоприятный режим разрушения — поверхностное истирание (твердые, непластичные породы), в процессе которого происходит отделение мельчайших частиц горной породы, что приводит к повышенному износу порада разрушающего инструмента [15].

Основными задачами геотехнического бурения являются получение целого керна (предотвращение механического разрушения при бурении), определение трещиноватости (ориентированный керн), дальнейшее изучение свойств и условий залегания полезных ископаемых.

Решение указанных задач достигается с помощью отбора и изучения образцов породы – керна. Отбор керна — сложный технологический процесс, при котором горная порода разрушается не по всей плоскости забоя, а по кольцу, с сохранением внутренней части породы в форме столбика — керна. Отбор керна затрудняется множеством неблагоприятных геологических факторов: наличие рыхлых, неустойчивых, размываемых потоком бурового раствора, трещиноватых, переслаиваемых горных пород (ГП), залегающих под различными углами к горизонту

нту. Для качественного отбора керна применяется большое количество технико-технологических средств бурения [15]. Если дать сильную нагрузку во время бурения, то пойдет искривления скважин или же искривление буровой штанги.

Колонковое вращательное бурение заключается в разрушении породы колыцевым забоем, что обеспечивает получение керна — столбика породы цилиндрической формы. При разбуривании устойчивых пород в качестве очистного агента используется техническая вода. При разбуривании неустойчивых пород в воду добавляют глину и различные реагенты. Эти растворы, циркулируя по скважине, образуют на ее стенках корку толщиной 3–6 мм, которая удерживает стенки скважины от обрушения. После заполнения колонковой трубы керном буровой снаряд поднимают на поверхность для его извлечения. Через 50 – 100 м измеряют азимут и угол наклона скважины. При необходимости закрепляют опасные участки скважины обсадными трубами, после чего продолжают бурение. Недостатками колонного бурения являются относительно небольшие диаметры бурения и необходимость остановки вращения (бурения) для укрепления гидропатрона, с помощью которого создается осевая нагрузка на забой скважины [15]. Обычно закрепляют обсадными трубами от устья скважины, до скальных горных пород. Иначе запросто может заклинить буровой штанг и ликвидировать скважину.

Колонковое бурение применяют для бурения скважин преимущественно с отбором керна, т.е. в основном при разведке твердых ПИ и бурении некоторых разновидностей эксплуатационно-технических скважин, в том числе из подземных горных выработок, залегающих в пределах возможности (целесообразности) сооружения шахт и карьеров.

При вращательном роторном бурении используются буровые установки другой конструкции, однако схема бурения, т.е. разрушение породы, ее удаление и закрепление стенок скважины, аналогична применяемой при колонковом бурении. Роторное бурение принципиально отличается от колонкового типом вращателя, в качестве которого используется ротор. Ротор обеспечивает вращение инструмента и его подачу на забой скважины под действием собственного веса (свободная подача). Непрерывность вращения и высокие значения величины крутящего момента позволяют бурить скважины большей глубины и диаметра [15]. В зависимости пластов горной породы и трещиноватости.

2.1.2 Требования к получаемому керну и документированию при геотехническом бурении

Основная цель на стадии геотехнического бурения – извлечение керна в несколько возможном оптимальном состоянии для проведения оценки качества и инженерных свойств массивов пород на месте бурения.

Важно правильно проследить весь процесс получения керна из земных недр, своевременно проводить его документирование. При извлечении керна в

зимнее время, его нужно хранить в теплом помещении, чтобы не заморозить. Иначе керн разрушится еще до испытания.

Для документирования на месте проведения буровых работ должен быть оборудован стол для документирования. В идеале, стол для документирования должен состоять из ряда стальных уголков, установленных на подставках (рамные подставки типа «козлов»), как показано на рисунке 5. Уголки должны быть длиной не менее 4 м и с полками 4-5 см. Вполне подходят легкодоступные стальные уголки, применяемые в строительстве. Подставки должны быть вертикальны, чтобы уголки были устойчивы, не будучи прикрепленными к подставкам «намертво». Это обеспечит портативность конструкции и возможность легкого перемещения с места на место [16]. Соблюдая все эти правила, мы получаем более четкие результаты в дальнейшем в лабораторных условиях.

Желательно иметь такое количество уголков, чтобы можно было выложить полностью весь керн, добытый в ночную смену, так чтобы он был подготовлен для документирования. При длине рейса (керна) 3 м, керн должен быть установлен в прямоугольных стальных уголках длиной не менее 4 м; при длине рейса 1,5 м – длина уголков должна быть не менее 2,5 м.

Для геомеханических целей предпочтительно производить бурение большего диаметра. Для описания и измерений, следует применять колонки NQ (диаметр 76 мм), а лучше HQ (диаметр 96 мм, диаметр керна 63,5 мм), поскольку бурение меньшими диаметрами может способствовать образованию большого количества дополнительных трещин, что осложняет задачу их корректной интерпретации и документирования [16]. При работе бурильщики должны отдавать предпочтение качеству, а не скорости бурения или количеству кернового материала.

Одним из основных источников ошибок при геомеханическом документировании керна является образование трещины в керне при удалении керна из керноотборника и его перемещении в керновый ящик. Поэтому по возможности керн из керноотборника следует извлекать гидравлическим способом (под напором воды), а не выбивать его молотком [16]. Чтобы на керновых материалах не образовались трещины.

Для удаления следов бурового раствора керн следует отмыть, но делать это надо очень осторожно, чтобы сохранить целостность керна. Не следует применять распыливающие наконечники высокого давления (сжатый воздух), поскольку это может вызвать смещение керна и его дальнейшее повреждение. С особой тщательностью следует проследить, чтобы мелкие частицы не были вымыты из слабых и нарушенных зон керна. Блок, указывающий глубину керна, следует поместить в конец кернового рейса [16]. Инженер-геолог специалист, который дает более подробную информацию во время извлечения кернового материала из буровой штанги.



Рисунок 5 – Стол на рабочем месте для геомеханического документирования крнвого материала на месте буровых работ

Упаковка, отбор, транспортирование, хранение образцов производится по данному стандарту ГОСТ 12071-2014.

В идеале желательно документировать крн максимально возможно быстро, описать его исходное состояние (на месте залегания), прежде чем оно будет изменено под действием таких факторов, как высыхание, релаксация напряжений, от ударов, при переукладывании и т. Рисунок 5 - сразу после извлечения крна из крнотборника и помещения в v – образный уголок (на документировочный стол), геолог должен осмотреть крн и промаркировать все открытые, явно природные (естественные) трещины [16]. Трещины красны и зеленым, а линию направления черным цветом маркера.

Для этих целей разработана следующая система маркировки:

- Открытые природные (естественные) трещины – линию нарисовать зеленым маркером поперек трещины.
- Искусственные («техногенные») трещины – линию нарисовать красным маркером поперек трещины.

Одна из основ успешного геомеханического документирования – это умение отличить искусственные («техногенные») дефекты (трещины и т. д.) от природных (естественные) дефектов, имевшихся изначально в массиве пород. Различие между искусственными («техногенными») дефектами и естественными трещинами подчас трудно определить, и даже опытный документировщик может перепутать

ть их. Вот почему так важно промаркировать как все открытые природные (естественные) трещины, так и явно искусственные («техногенные») дефекты, что бы свести возможность путаницы к минимуму. Общее правило здесь такое: если есть сомнения, считаем трещину (дефект) природной [16].

Рисунки 6 - ориентированный керн, рыхлая порода, которая пробурена для испытания в лабораторных условиях. При бурении такой глубины в обязательном порядке скважина обсаживаются. Чтобы стенки скважины при дальнейшего бурении не сыпались, и чтобы не ликвидировать данную скважину. Рисунок 7 мы видим сильно поврежденный керновый материал, который во время (в ходе) буровых работ по трещинам по ломанный, это говорит о том что в данном участке и глубине трещины расположены по напластованию. Далее, после бурения (изъятия планируемого ориентированного кернового материала) скважины сразу же вызывается каротажики и замеряют уровень воды в пробуренной скважине.



Рисунок 6 – Сильно поврежденные керны рыхлой породы



Рисунок 7 – Механические трещины, образовавшие во время бурения



Рисунок 8 – Завернутые образцы в полиэтиленовые пакеты.

Рисунок 8 – как показано в деревянных ящиках с сухими амортизирующими опилками, чтобы при транспортировке образцы не повреждались. Как на фотографии показано в каждом ящике должно быть сводная ведомость, по мимо общих. Принимая ящики, нужно сверить со сводной ведомостью образцы, которые доставлены для лабораторных испытаний.

По ГОСТ – у 5180 определение влажности, исходную влажность фиксируют в паспорте пробы. Отбор пробуренных проб – по ГОСТ 21153.0 со следующими дополнениями:

- объем и размеры проб должны обеспечивать изготовление образцов необходимой численности, ориентировки и размеров относительно направления слоистости;
- консервацию проб допускается производить негигроскопических пород с заменой марли, битуминированной бумагой, водонепроницаемыми материалами, полиэтиленовой пленкой или другими не вступающими во взаимодействие с горной породой материалами.

Большой объем ценной геомеханической информации может быть получен в процессе самого бурения. Буровая документация по условиям проходки, составляемая бурильщиками, должна пополняться каждый день и предоставляться инженер-геологу для тщательного изучения [16]. Маркируя на рабочем месте, геолог ориентированного керна дает возможность научным сотрудникам получить более четкие результаты в при испытании на лабораторных условиях физико-механические свойства горных пород данного материала.

2.1.3 Особенности процедуры геомеханического документирования керна

Геомеханическое документирование керна должно производиться в определенном порядке (рис. 9).

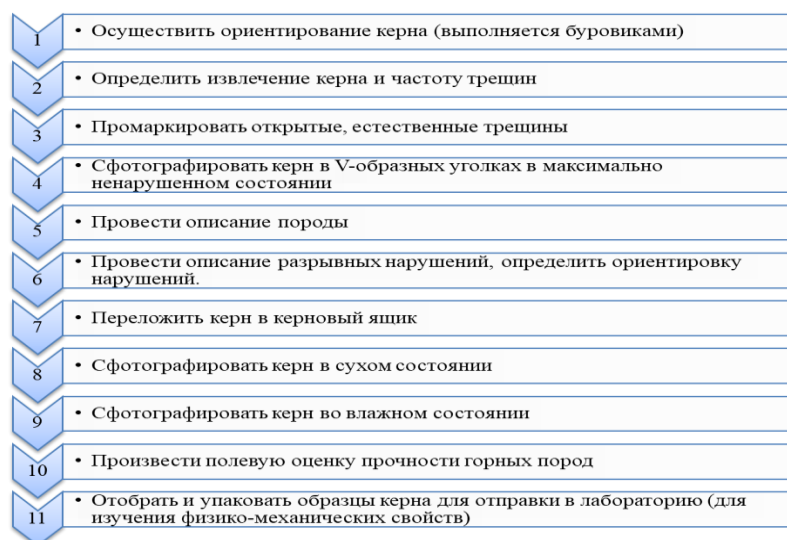


Рисунок 9 – Последовательность документирования керна

Керн документируется сразу после бурения, когда он имеет минимальные повреждения:

1) Рейсовая уходка. При документировании керна основой выделения интервалов должен быть буровой рейс. Максимальная длина, рекомендуемая для интервала – это пробег одного керна (обычно 3 м).

2) Выход керна (общий выход керна (TCR), %). Общий выход керна определяется процентным отношением длины извлеченного керна (включая как цельный, так и разрушенный керн) к общей длине рейса:

$$TCR = \frac{\text{Общая длина извлеченного керна, м}}{\text{Длина бурового рейса}} \cdot 100 \% \quad (2.1)$$

Извлечение керна следует зафиксировать для каждого рейса, выражается в процентах (RQD). RQD - показатель качества пород определяется как процентное отношение суммарной длины цельных интервалов керна длиной более 10 см, каждый ограниченный естественными трещинами, к длине рейса.

$$RQD = \frac{\sum \text{кусков керна} > 10 \text{ см длиной, м}}{\text{общая длина рейса, м}} \cdot 100 \% \quad (2.2)$$

3) Состояние трещин. Для каждой группы трещин (1 группа- 0-30°; 2 группа- 30°-60°; 3 группа- 60°-90°) необходимо определить: тип нарушения; азимут падения и угол падения трещины; количество и мощность трещин, их протяженность; микро- и макрошероховатость; литологию заполнителя.

4) Состояние породного массива (частота открытых трещин (FF)). Частота открытых трещин (FF) или модуль трещиноватости определяется как отношение суммы трещин всех направлений к длине рейса:

$$FF = \frac{\sum \text{трещин всех направлений}(0 - 30^\circ, 30^\circ - 60^\circ, 60^\circ - 90^\circ)}{\text{длина рейса (либо часть рейса)}} \quad (2.3)$$

2.2 Методика испытания физико-механических свойств

2.2.1 Подготовка образцов к испытанию

Чтобы произвести испытания применяют инструменты и оборудование, материалы по ГОСТ 21153.0:

- обдирочно-шлифовальный станок любой конструкции с чугунным плоским диском, вокруг вертикальной оси вращающимся, или же плоскошлифовальный станок типа ЗГ710 – для изготовления образцов материала;

- машины испытательные гидравлические прессы, отвечающие требованиям ГОСТ 28840 и ГОСТ 9753, которых максимальное усилие не менее чем на 20–30% превышает предельную нагрузку на образец;

- должно быть плиты стальные толщиной не менее 0,3 диаметра (стороны квадрата) кернового образца и диаметром, на 3-5 мм превышающим готового образца, которые имеют плоскопараллельные рабочие поверхности (допускаемое отклонение от плоскостности 0,02 мм и параллельности 0,01 мм) с классом шероховатости не ниже 7 по ГОСТ 2789 и твердостью по Роквеллу HRC 55-60 ед., - применяют их в качестве прокладок между торцами образцов и опорными плитами испытательной машины в случае тогда, если испытательная машина полностью оснащена верхней подвесной сферической надежной плитой; устройства установочные, оснащенные сферическим шарниром, - так как применяют при отсутствии на испытательной машине верхней подвесной сферической плиты;

- шлифпорошок N 12-8 по ГОСТ 3647 – для доводки торцов кернового образца.

Для испытания кернового материала изготавливают цилиндрические образцы выпиливанием на камнерезной машине с алмазными дисками, их торцевые поверхности шлифуют на шлифовальном станке САСП-1. Образцы пород изготавливают с применением промывочной охлаждающей жидкости и до начала испытания хранят в эксикаторе. Из разных слоистых или с направленной трещиноватостью горных пород изготавливают образцы для испытания. Главное торцевые поверхности образца должны быть ровно плоскими, идеально параллельными друг другу перпендикулярными боковой поверхности в соответствии с допусками вышеуказанных (таблица 2).

Измерения производятся штангенциркулем с погрешностью $\pm 0,1$ мм. Диаметр обязательно строго измеряют в трех местах по высоте (в середине и у торцов) в двух или несколько взаимно перпендикулярных направлениях. Допускается разность их диаметров по всем измерениям не более 0,5 мм. Обычно за расчетный диаметр принимают среднее арифметическое результатов всех измерений.

Торцевые поверхности образца должны быть идеально плоскими, параллельными друг другу и ровно перпендикулярными боковой поверхности в соответствии с допусками, указанными в табл.3.

Таблица 2 – Требуемые параметры образца

Параметр образца	Размеры, мм, при испытаниях		
	массовых		сравнительных
	предпочтительные	допускаемые	
Диаметр (сторона квадрата)	42 \pm 2 1,0; 2,0	От 30 до 80 включ.	42 \pm 2 2 \pm 0,05
Отношение высоты образца к его диаметру	1,0; 2,0	От 0,7 до 2,0	2 \pm 0,05

Таблица 3 – Допуски образца

Наименование допущения	Размеры допуска, мм, при испытаниях	
	сравнительных	массовых
Отклонение от плоскостности	0,03	0,05
Отклонение от параллельности	0,20	0,40
Отклонение от перпендикулярности	0,50	1,00

Если есть отклонение от плоскостности (вогнутость, выпуклость) и параллельности, то измеряют индикатором, установленным на стойке:

- по спирали с шагом 5-6 мм от края торца к его центру;
- по двум взаимно перпендикулярным диаметрам. От перпендикулярности отклонение торцевых поверхностей к образующей контролируют поворочным угольником в четырех точках каждой торцевой поверхности, и смещенных относительно друг друга и на 90°.

Боковой поверхности образца образующиеся должны быть прямолинейными по всей высоте. Допускается отклонение от прямолинейности 0,5 мм.

Количество всех образцов при массовых испытаниях должно обеспечивать относительную погрешность результатов их испытаний в лабораторных условиях не более 20%.

При сравнительных испытаниях общее количество образцов должно обеспечивать относительную погрешность результатов их испытаний не более 10% при надежности не ниже 0,95.

Керновый материал в зависимости от наличия или отсутствия на испытательной машине верхней подвесной сферической плоской плиты, размещают соответственно только между стальными плитами, либо в установочном порядке устройстве, ось образца с центром опорной плиты нижней испытательной в нашем случае гидравлической машины, и нагружают аккуратно равномерно до разрушения со скоростью 1-5 МПа/с.

При испытании должен присутствовать помощник, который записывает максимальную величину разрушающей образец силы в (табло) килоньютонах, зафиксированную стрелками силоизмерителем испытательной гидравлической машины, с указанием отношения $m = h/d$ данного для образца.

2.2.2 Прочность пород при одноосном сжатии и методы ее определения

Среди прочностных показателей особое положение занимает предел прочности на одноосное сжатие - основная константа различных материалов, в том числе и горных пород. Практически в каждой лаборатории, занимающейся исследованием физико-механических свойств пород, прежде всего определяют предел прочности на одноосное сжатие [10].

Существенное различие в методиках испытаний не позволяет сопоставлять результаты испытаний отдельных исследователей, приводит к дублированию работ, удорожает проведение исследований и затрудняет использовать опытных данных. В различных организациях используются образцы кубической, призматической или цилиндрической формы, образцы - диски (для испытаний методом соосных пуансонов), образцы полуправильной и произвольной формы; размеры образцов изменяются в довольно широких пределах. Торцевые условия при этом также различны: жесткая заделка торцов, сухое трение смазка и различного рода прокладки (парафин, свинец, пластмасса, песок и др.) [10].

При обычно применяемых методах определения прочности пород на одноосное сжатие в образце возникает неоднородное напряженное состояние, искажающее значение прочности: концентрация напряжений у торцов при испытаниях образцов с жесткой заделкой торцов и с трением по торцам или растягивающие напряжения на торцах при испытаниях со смазкой или с низко модульными прокладками. Неоднородность напряженного состояния в образце обусловлена в основном двумя причинами: внутренней, связанной с несовершенством строения пород и

их структурными особенностями, и внешней, зависящей во многом от торцовых условий, схемы нагружения, формы и размеров образца и т. д [7].

Говоря об однородном напряженном состоянии, следует иметь в виду только внешние причины, связанные со способом передачи нагрузки, обеспечивающим в максимально возможной степени (для данного строения породы) однородность напряженного состояния и равномерное деформирование образца по его высоте. Для образцов пород с крупными включениями, редкими и крупными трещинами, ясно выраженной неравномерно слоистостью принципиально невозможно обеспечить высокую однородность напряженного состояния при любых условиях испытаний [10].

Разработка методов испытаний, позволяющих обеспечить однородное (или близкое к однородному) напряженное состояние материала испытываемых образцов, шла в основном по трем направлениям: совершенствование схем нагружения образцов, анализ и учет испытаний образцов с разным отношением h/d и совершенствование торцовых условий при испытаниях [10].

В основной схеме нагружения образца породы заключается в том, что надо равномерно распределить нагрузку по торцевой площади образца. Правильно выбранная схема нагружения обеспечивает также равномерный характер деформирования ядерного материала до его разрушения.

В диссертационной работе выбрана следующая схема нагружения: Испытания горных (скальных) пород очень важный момент. Отбор образца для испытания, заготовка для растяжения и на сжатия, выбирается визуально исследуя каждый кусок материала, так как расположение трещин бывают по разному или же пористость каждого образца. Надо стараться выбрать образцы по ГОСТ-у в одном интервале на сжатие и растяжение как уже ранее написано в диссертационной работе. При заготовке натурным образом на растяжение режутся в специальном камнерезном станке с алмазными дисками САСП-1 и с охлаждающими жидкости в ходе резки. Некоторые материалы ломаются во время заготовки. На растяжение готовятся материалы соломкового вида как на рисунке 10 показано материалы, уже которые после испытания на растяжение. При сжатии на каждый образец (горных пород) должно быть индивидуальный подход. В моем производственной практике было так со скоростью нагрузки:

- поднимаем верхнюю плиту так чтобы поместить образец;
- устанавливаем материал по центру (по оси плиты);
- даем нагрузку 50% от 100%, до приближения плиты на верхнюю площадку данного образца;
- пауза, (останавливаем) переключение на 0% нагрузки;
- после, переключаем на нагрузку 15%;
- придавая нагрузку, мы разрушаем материал;
- при разрушении образца, вторая стрелка фиксирует устойчивость на какой нагрузке разрушился.

Бывают образцы без трещин, как на рисунке 10, которые не разрушаются даже на 40 т. нагрузки.



Рисунок 10 – Образцы после испытания

При испытании нагружали разные скорости на одной породе на сжатие:

- нагрузка 5 % – гидравлический пресс работает без нагрузки;
- нагрузка 10 % – гидравлический пресс работает без нагрузки;
- нагрузка 15 % – гидравлический пресс работает без нагрузки;
- нагрузка 20 % – гидравлический пресс работает с малой нагрузкой;
- нагрузка 30 % – гидравлический пресс работает нагрузкой;
- нагрузка 40 % – гидравлический пресс работает нагрузкой;
- нагрузка 50 % – гидравлический пресс работает с большей нагрузкой;
- нагрузка от 50 % до 100 % - не желательные нагрузки для данного гидравлического пресса;

На сжатие (максимальное переключение 40тонн) из всех этих нагрузок, который наш гидравлический пресс работает в оптимальном режиме и дает хорошие результаты при испытаний 15 % нагружения на сжатие. Испытывали все образцы на сжатие в одном режиме нагружении.

2.2.3 Прочность пород на растяжение и методы ее определения

Горные породы характеризуются малыми пределами прочности на растяжение по сравнению с прочностью на одноосное сжатие. Малая прочность пород на растяжение явилась причиной слабой экспериментальной изученности этого показателя. Вместе с тем малая сопротивляемость пород растягивающим на протяжении является причиной того, что разрушение породного массива часто вызывается именно растяжением, а не сжатием. Это имеет место, в особенности в местах концентрации напряжений у остроугольных участков и неровностей по поверхности и внутренних микродефектов структуры породы, а также при действии сосредоточенных давлений [10].

Микродефектная теория прочности позволяет рассматривать сопротивляемость растяжению как основную прочностную константу горной породы, отображающую как прочность молекулярных связей слагающих ее кристаллов, так и ее микродефектную структуру [10]. Чтобы определить прочность пород на растяжение используется метод непосредственно прямого растяжения, а также существует ряд косвенных методов испытаний.

Косвенные методы основаны на испытаниях в условиях сложных напряженных состояний, когда характер разрушения образцов в решающей, но не обязательно полной мере определяется действием максимальной растягивающей компоненты тензора напряжений. Поэтому значение этой компоненты, соответствующее моменту разрушения образца, должно рассматриваться как условный предел прочности на растяжение. Степень этой условности можно оценить лишь экспериментальным сопоставлением каждого конкретного косвенного метода с методом прямого растяжения и учесть введением теоретические расчетные формулы поправочных коэффициентов, а в технологию испытаний – определенных нормативных требований [10]. По характеру воздействия на образец внешних сил косвенные методы испытания можно разбить на три группы [7].

1. Испытание методом раскалывания сжимающими нагрузками;
2. Испытание методом разрыва внутри;
3. Испытание методом изгиба.

Практически особенно полезными и получившими широкое распространение являются методы испытаний, относящиеся к первой группе и основанные на нагружении испытываемых образцов встречными линейно-распределенными или сосредоточенными нагрузками [10].

На рисунке 11 – а приведены простые схемы прямого растяжения. Эпоксидный клей или легкоплавкий сплав Вуда (3), скрепляющий образец (1) с захватами (2), заливается в зазор между захватами и боковой поверхностью образца. На рисунке 11 – б нагрузка на образец передается от испытательной машины через тросики, что гарантирует ее центрированность. Источником нагрузки является давление жидкости (масла), нагнетаемой под заплечики захватов [9]. При испытании место разрыва образцов (соломки) обычно не к местам заделки не приурочено, концентрация в этих местах ничтожна или отсутствует.

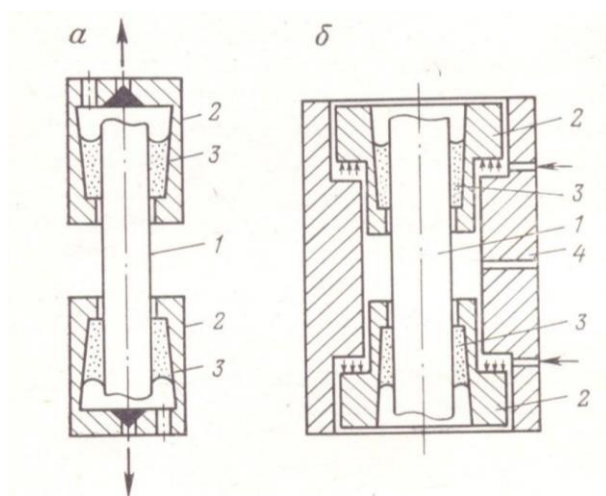


Рисунок 11 – Схемы испытаний методом прямого растяжения

Однако, несмотря на принципиальную простоту, данная методика отличается высокой трудоемкостью как на стадии непосредственной подготовки к испытаниям (скрепление образцов с захватами), так и на стадии изготовления образцов, длина которых должна быть в пределах от 2,5 до 3 диаметров. На практике последние условия зачастую невозможно выполнить из-за ограниченности размеров породных проб или их трещиноватости [10]. Метод прямого растяжения в силу этих обстоятельств сейчас используется при методических исследованиях как эталонный метод испытания.

2.2.4 Метод раскалывания цилиндрических образцов встречными линейно-распределенными нагрузками («бразильский метод»)

Среди косвенных методов испытаний на растяжение метод сжатия цилиндрических образцов линейно распределенными по образующим нагрузкам (рисунке 12) благодаря своей доступности получил наиболее широкое внедрение в лабораторной практике. Это метод применительно к бетонным образцам детально описан бразильскими исследователями Карнейро и Барцеллосом (1947 г.). Поэтому он получил известность как «бразильский» (аналогичная методика была использована в 1933-1935 гг. в СССР М. И. Койфманом) [10].

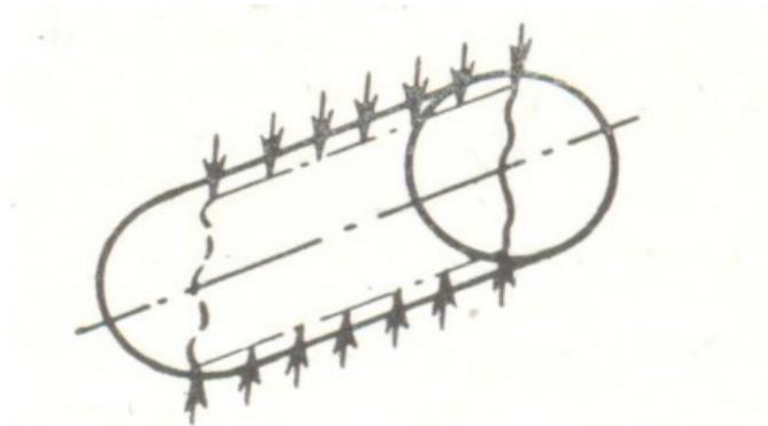


Рисунок 12 – Бразильский метод на растяжение

Метод основан на известном решении задач теории упругости-задач Герца, из которой следует, что в плоскости действия внешних линейно распределенных сил возникают растягивающие напряжения, перпендикулярные к этой плоскости и равномерно распределенные по диаметру образца (см. верхнюю половину рис. 12) [10]. Надо уделять особое внимание на ось образца при испытании.

$$\sigma_x = -\frac{2P}{\pi dl} \quad (2.3)$$

где P – распределенное равномерно по образующей цилиндрического керна, общее усилие; l и d – диаметр и длина образца.

Реальные горные породы по своим свойствам зачастую существенно отличаются от идеально упругой среды, а нагрузки P распределяются в практических условиях либо по некоторым площадкам смятия (сжатие образца плоскими плитами), либо по поверхности вдавливания (сжатие образца клиньями или цилиндрическими стержнями). Реальный процесс разрушения образцов отличается от разрушения теоретической модели. Прежде всего это отличие качественно выражается в том, что процесс разрушения состоит из двух стадий: образования зон местного разрушения в условиях трехосного сжатия, возникающего непосредственно в области силового контакта образцов с нагружающими элементами испытательных устройств, и последующего сквозного раскола (разрыва) образца на две части [10].

3. Результаты и анализ лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород

Для проведения дальнейших исследований, расчета коэффициентов запаса устойчивости и моделирования напряженно-деформированного состояния бортов карьера важным этапом стало проведение лабораторных испытаний полученного кернового материала.

Целевое назначение проводимых исследований:

- изучение геолого-структурного строения пород, слагающих борта карьера;
- изучение данных по инженерно-геологическим особенностям массива;
- определение основных физико-механических свойств пород прибортового массива в лабораторных условиях;
- статистический анализ результатов испытаний по пробам;
- изменения прочностных свойств пород законтурного массива с глубиной;
- определение средних значений исходных параметров физико-механических характеристик вмещающих пород для дальнейшей оценки устойчивости уступов и бортов карьера.

При решении практических задач большинство исследователей и производителей в качестве характеристик крепости горных пород пользуется показателем временного сопротивления их одноосному сжатию. Поэтому в литературе встречается довольно много работ, посвященных изучению зависимости прочности горных пород от абсолютных размеров их образцов. Эта зависимость имеет серьезное методическое значение, так как возникает вопрос о величине проб горных пород, порядке их извлечения из массива, а также о закономерности экстраполяции результатов лабораторных испытаний образцов на массивы горных пород при решении теоретических и практических задач по горному делу [11].

3.1 Методики проведенных лабораторных испытаний скальных пород

3.1.1 Определение предела прочности на сжатие и растяжение

Для определения физико-механических свойств вмещающих пород карьера были подготовлены образцы по условиям и требованиям методики исследования пород на прочность при одноосном сжатии и растяжении. Размеры изготавливаемых образцов керна выбирали с учетом требований стандартов к методам испытаний ($h/d/2$, где h – длина образца; d – диаметр керна) и наличия разнообразных по составу и ориентации поверхностей ослабления [7].

На рисунке – 14 приведены фотографии с подготовленными образцами для испытаний.

Распиловка и обработка образцов керна была проведена на камнерезном станке САСП – 1 алмазными дисками с соблюдением строгой параллельности торцов, установленная площадь торцевой части образца – 17,34 см² [4] (рис. 13 а, б и 14).

Перед испытанием торцы образцов подвергались к шлифовке, на шлифовальной машине.



Рисунок 13 – Ориентированный керн в специальных деревянных ящиках



а) на сжатие



б) на растяжение

Рисунок 14 – Подготовленные образцы пород для испытаний

Прочностные (механические) свойства горных пород определены по средством испытаний образцов на временное сопротивление одноосному сжатию

$\sigma_{сж}$ и растяжению σ_p [12].

Для исследования пород на прочность при растяжении образцы были изготовлены из материалов керна с геометрическими размерами 1,0 × 1,0 см и 1,5 × 1,5 см, а для слабых и интенсивно трещиноватых пород, образцы для испытаний подготовлены с размерами 4,5 × 4,5 см. Торцевые поверхности образцов подвергались шлифовке для обеспечения параллельности контактных поверхностей при нагрузочных испытаниях [4].

На этапе непосредственных испытаний применялся специальный пресс WPM–Leipzig–40 (Сертификат о поверке №ВА-03-02-00889, Приложение А) (рис. 15). При испытании на сжатие поднимается две стрелки подряд, а когда разрушится образец, одно из них падает на исходное положение. Вторая стрелка фиксируют данную нагрузку. Табло гидравлического пресса:

1. Задняя (дальняя) стрелка работает без фиксации;
2. Передняя стрелка работает с фиксацией нагрузки (механический в ручную переключаем на исходное положения);



Рисунок 15 – Гидравлический пресс WPM–Leipzig – 40 с фиксирующими двумя стрелками (Сертификат о поверке №ВА – 03-02-00889)

Определение пород на прочность при одноосном сжатии является наиболее распространенным способом оценки прочностных свойств пород (рис. 16, 17, 18). Образец между клиньями (плитами) размещают так, чтобы ось образца и линии касания к нему клиньев (плит) находились в плоскости задаваемого раскола (разрыва породы). Отклонение от плоскостности не более 0,5 мм. Образец нагружают до разрушения равномерно со скоростью с 4-мя диапазонами нагрузок 0,0–4 т/с; 0,0–10 т/с; 0,0–20 т/с; 0,0–40 т/с [4].



Рисунок 16 – Испытание образцов на сжатие в сухом состоянии



Рисунок 17 – Испытание образцов на сжатие в сухом состоянии





Рисунок 18 – Испытание образцов на сжатие во влажном состоянии

Весьма большое значение на величины механических характеристик оказывают скорости приложения нагрузки. При горных работах они могут изменяться в весьма широких пределах от ничтожно малых, определяемых долями Н/см^2 в минуту (к Н/см^2 в минуту) при нагружении на гидравлических испытательных машинах до огромных скоростей при соударении тел; в момент соударения скорости ударяющего тела изменяются от метров до десятков и сотен метров в секунду. Изменения механических характеристик происходит во всем диапазоне изменения скоростей, поэтому строгая классификация режимов нагружения затруднена. Необходимо также иметь в виду, что при испытаниях образцов трудно избежать перекосов вследствие неточности обработки образцов, несоосности приложения нагрузки, влияние концентрации напряжения в местах приложения захватов и др. Таким образом несмотря на значительное развитие теории, а также натурных и особенно лабораторных исследований, механические свойства горных пород изучены недостаточно, а их величины имеют весьма большие разбросы. Для достоверности расчетов прочностные и деформационные характеристики пород следует определять именно для рассчитываемых частей выработок и в тех режимах нагружения, в которых горные породы будут работать в данных условиях [13].

Прочность пород на растяжение определяется по максимальной нагрузке, прилагаемой по продольной оси образца, разнонаправленно, т.е. на разрыв (рис. 3.7). Испытания образцов горных пород на растяжения производилось в металлических зажимах с резиновыми накладками. Механизм динамометра приводился в действие с помощью электродвигателя через редуктор постепенным увеличением нагрузки (растяжения), что позволило достаточно четко фиксировать величину разрушающего усилия. После испытаний анализировался характер разрушения образцов, оценивалась плоскость разрушения. На основе подобных заключений в расчет принимались те образцы, разрушение которых произошло по нормали или ближе к нормали. Образцы пород с низкой прочностью, поверхность разрушения при испытании на растяжение которых не отвечала указанному правилу, как правило, в расчет не принимались [4]. Образцы, где были слабые и

сильно трещиноватые породы при заготовке ломались, их невозможно испытать на растяжение при имеющемся оборудовании.

На растяжение предел прочности породы по формуле ниже:

$$\sigma_p = \frac{0,637 \cdot P_{max}}{F}, \text{ МПа} \quad (3.1)$$

где P_{max} – разрушающая максимальная нагрузка;

$F = d * h$ – к продольной оси образца площадь разрыва образца по нормали, м²;

d – диаметр образца; h – высота образца.



Рисунок 19 – Испытание образцов на растяжение

3.1.2 Определение сцепления, угла внутреннего трения скальных пород

Параметры паспорта прочности (сцепление и угол внутреннего трения) горных пород определялись в соответствии с расчетным методом построения паспорта прочности по данным определения пределов прочности при одноосном сжатии и растяжении по ГОСТ 21153.8-88 (рис. 19) [7, 4].

Метод с использованием пределов прочности при одноосном сжатии и растяжении предусматривает определение координат точек огибающей расчетным путем по эмпирическому уравнению. Данный метод применим в диапазоне нормальных напряжений, не превышающих значения $1,5 \sigma_c$.

Как показано на рисунке 20 – построение паспорта прочности и пример по

строения. После того как построили паспорта прочности пород согласно обязательному ГОСТ 21153.8-88 определены значения условного сцепления C и угла внутреннего трения ϕ , соответствующего возможному углу сдвига толщи по род.

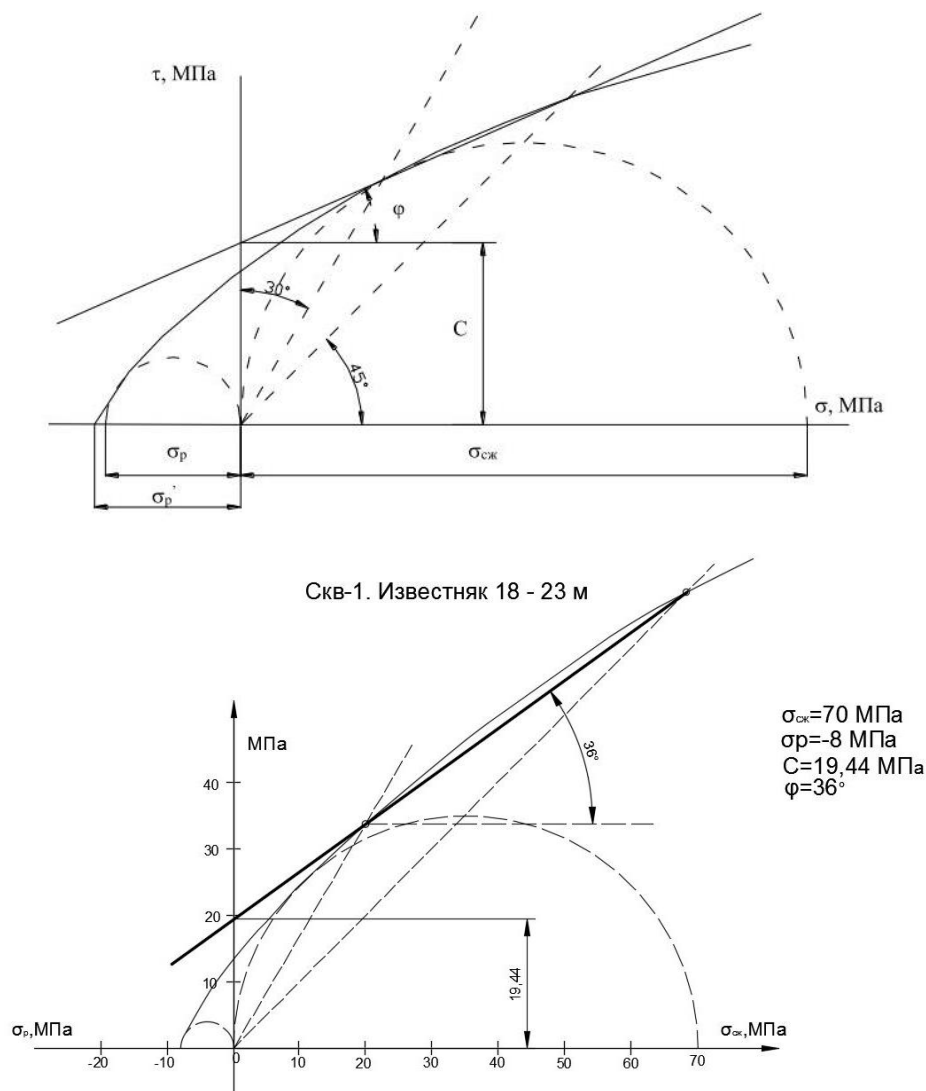


Рисунок 20 – Построение паспорта прочности и пример построения

3.1.3 Определение основных деформационных характеристик

Основными деформационными характеристиками исследуемых пород являются модуль упругости E и динамический коэффициент Пуассона m . При подготовке образцов к определению упругих свойств выполнялось обязательное условие - параллельность торцов образца (для плотного контакта с датчиками и соосно

сти их при измерении), соблюдение в образцах соотношения $l/d > 2$.

Определение скорости распространения продольных и поперечных упругих волн в образцах проводилось с использованием соответствующей ультразвуковой аппаратуры и методики измерений. Для получения динамических характеристик была проведена серия экспериментов с помощью измерителя времени и скорости распространения ультразвука «Пульсар-2.2». Работа прибора основана на измерении времени и скорости прохождения ультразвукового импульса в материале изделия от излучателя к приемнику. Скорость ультразвука вычисляется делением расстояния между излучателем и приемником на измеренное время и зависит от его плотности и упругости, от наличия дефектов (трещин и пустот), определяющих прочность и качество (рис. 21) [4].

Измерение времени и скорости распространения поперечных и продольных упругих волн позволяют с определенной точностью получить динамические показатели, как коэффициент Пуассона μ и модуль упругости E .

$$E = V_p^2 \cdot \frac{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}{1 - \mu} \cdot \rho \quad (3.2)$$

где V_p - скорость распространения продольных волн, м/сек;

ρ - плотность породы, кг/м³;

$$\mu = \frac{0,5 - \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2}{1 - \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2} \quad (3.3)$$

где V_s/V_p –соотношение скорости распространения поперечной волны V_s к скорости продольной волны V_p .

Модуль сдвига G определяется как:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} \quad (3.4)$$

Коэффициент бокового давления (распора) ξ - отношение величины бокового давления на грунт к вертикальному, вызывающему это боковое давление (коэффициент пропорциональности между вертикальным и горизонтальным напряжением). С коэффициентом Пуассона связан выражением:

$$\xi = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (3.5)$$



Рисунок 21 - Внешний вид измерителя «Пульсар-2.2»

3.2 Результаты и анализ лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород

При обработке результатов лабораторных исследований прочностных свойств горных пород железорудного карьера было отмечена изменчивость физико-механических свойств в пределах одного литотипа (рис. 22). Такой разброс данных можно объяснить влиянием следующих факторов: интенсивность трещиноватости и различный минералогический состав [3,4].

При исследовании физико-механических свойств Сарбайского карьера также было установлено, что неоднородный минералогический состав горных пород и вторичные изменения в условиях естественного залегания оказывают влияние на свойства пород, понижая или повышая предел прочности на сжатие, например, кальцит ($\sigma_{сж} = 16$ Мпа) или пирит ($\sigma_{сж} = 128$ Мпа) [3, 14].



а) прочность пород на сжатие



б) прочность пород на растяжение

Рисунок 22 – Сравнение минимальных и максимальных значения прочности пород

Как видно на рисунке 22 – одноименные типы пород месторождения имеют существенный разброс значений предела прочности на одноосное сжатие и растяжение. Следовательно, также будет наблюдаться и разброс значений сцеплений и углов внутреннего трения при построении кругов Мора.

Для определения усредненных значений физико-механических свойств горных пород использовалось 2 метода: метод среднего арифметического и диаграмма размаха (рис. 22) [15,16].

Усреднение результатов определения пределов прочности на сжатие и растяжение для каждой породы проводилось по следующим группам данных:

- для всего месторождения;
- по скважинам;
- по соотношению расположения скважин со сторонами света;
- по глубине залегания породы.

Результаты обработки данных по методу среднеарифметического представлены в таблицах 4 и 5. В таблицах данные по скважинам представлены частично, выбраны скважины, в которых встречается не менее 2-х пород и исследовано не менее 5 – ти образцов каждой породы.



Рисунок 23 – Математический смысл диаграммы разброса (ящичной диаграммы)

Таблица 4 – Результаты обработки данных среднеарифметическим методом

Наименование породы	Влажные образцы		Сухие образцы	
	Бсж, МПа	Брас, МПа	Бсж, МПа	Брас, МПа
1	2	3	4	5
По всему месторождению				
Известняки	32,8	4,9	51,7	5,7
Порфириты	58,3	8,0	78,3	8,0
Метасоматиты	58,7	6,3	76,8	8,0
Андезиты	-	-	54,9	8,7
По скважинам				
2и				
Известняки	45,0	6,3	50,6	8,0
Порфириты	58,5	2,7	54,2	6,3
Метасоматиты	-	-	51,4	4,5
3и				
Известняки	27,8	4,1	52,1	5,8
Порфириты	32,8	2,5	58,8	3,6
Метасоматиты	32,4	4,0	48,7	8,1
4и				
Известняки	39,1	5,5	55,2	6,2
Метасоматиты	59,6	5,9	69,1	7,2

Андезиты	-	-	54,9	8,7
10и				
Порфириты	-	-	102,5	9,3
Метасоматиты	99,1	7,9	102,9	10,2

Таблица 5 – Результаты обработки данных среднеарифметическим методом

Наименование породы	Сухие образцы		Плотность, т/м ³	Сцепление, МПа	Уг.вн. трения, градус
	Бсж, МПа	Брас, МПа			
1	4	5	6	7	8
По соотношению расположения скважин со сторонами света					
Северо-запад					
Порфириты	95,4	7,8	2,68	31,7	35,6
Метасоматиты	102,9	10,2	2,65	34	33,5
Северо-восток					
Порфириты	39,9	5,9	2,61	11,3	31,7
Метасоматиты	64,0	8,2	2,77	21,1	29,8
Юго-запад					
Известняки	44,2	4,0	2,78	13,4	35,9
Порфириты	86,6	9,15	2,72	25,4	34,8
Метасоматиты	96,7	9,19	2,72	31,1	33,6
Юго-восток					
Известняки	51,9	5,9	2,74	15,1	34,6
Порфириты	57,5	6,9	2,72	17,4	34,0
Метасоматиты	55,9	6,1	2,73	16,7	34,2
Андезиты	54,9	8,7	2,79	15,9	31,7

Так как значения коэффициентов вариации (распределения) для всех типов пород больше 0,2, то применение среднеарифметического метода усреднения не верно. Для случаев, когда данные имеют достаточно сильный разброс значений, рекомендуется применять диаграммы размаха.

На рисунке 23 – представлен результат построения диаграммы размаха для метасоматитов. На диаграмме виден весь диапазон полученных значений. Половина из них помещены в “ящик”, остальная часть представлены “хвостами” или “усами”. Конец нижнего хвоста представляет наименьшее из наблюдаемых зна

чений ($\min=35,4$), конец верхнего – наибольшее ($\max=196,9$). От края нижнего хвоста до края верхнего – диаграмма нам показывает размах, равный [15,16].

Как на рисунке 24 – нижняя стенка ящика (перпендикулярная хвосту) представляет первый квартиль ($Q1=55,5$). Соответственно верхняя стенка ящика (перпендикулярная хвосту) – третий квартиль ($Q3=185,28$). Расстояние между первым и третьим квартилями называется межквартильным или интерквартильным размахом (IQR). В центре ящика проходит еще одна линия, перпендикулярная хвостам – это медиана ($Q2=70,8$) [15,16].

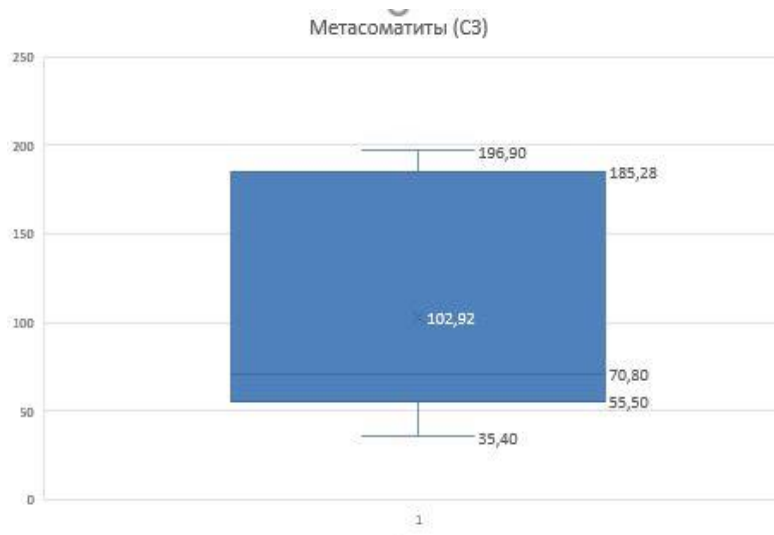


Рисунок 24 – Диаграмма разброса значений предела прочности на сжатие

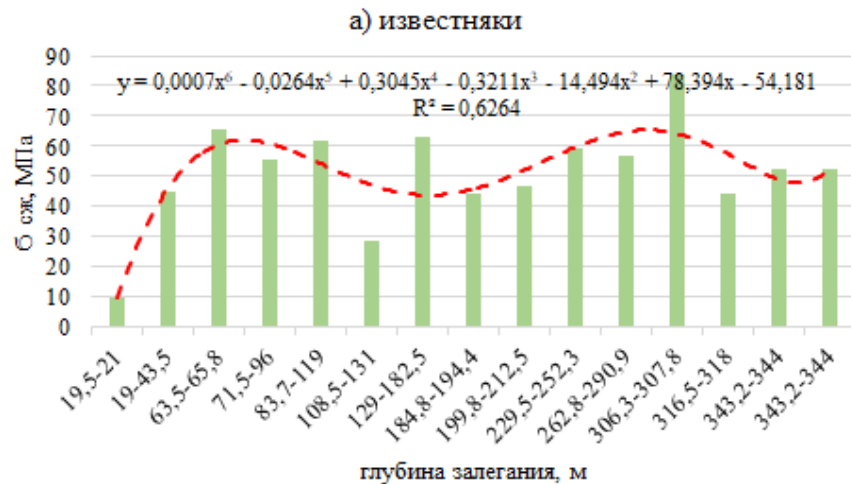
Результаты обработки данных по разбросу значений представлены в таблице 6. В таблицах данные представлены по расположению скважин относительно сторон света.

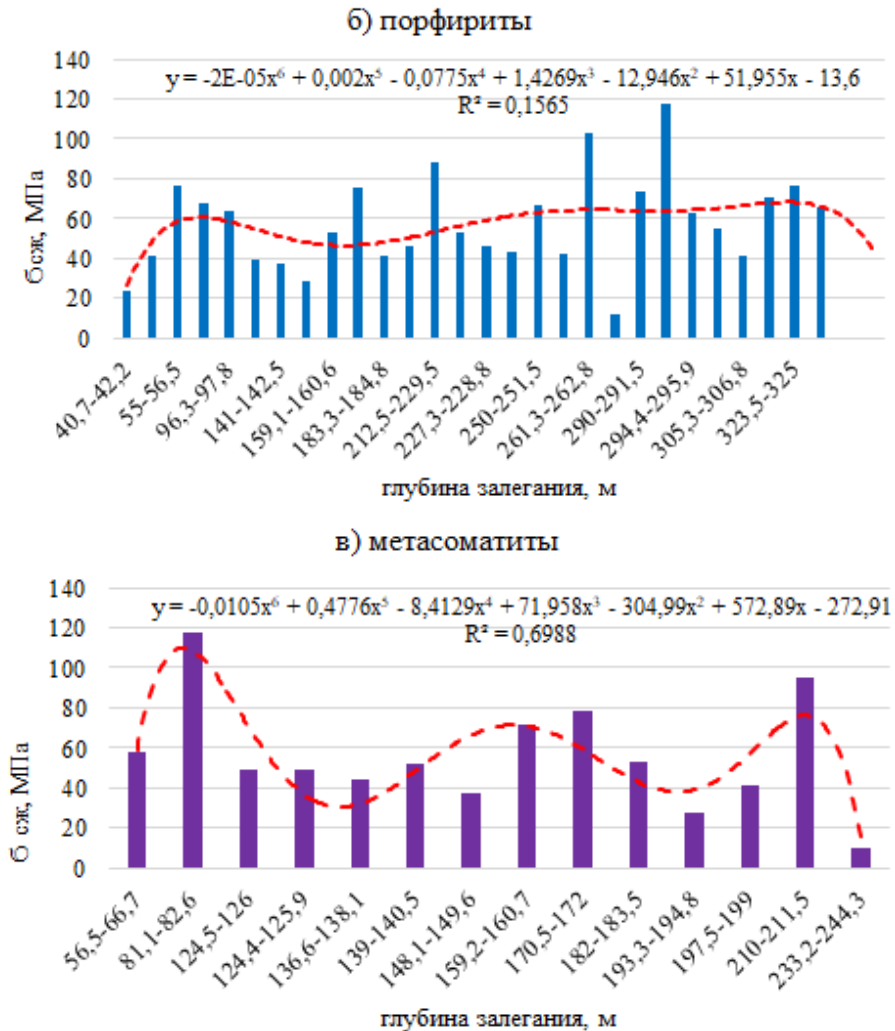
Таблица 6 – Результаты обработки данных по разбросу значений

Наименование породы	Сухие образцы		Плотность, т/м ³	Сцепление, МПа	Уг.вн. трения, градус
	Бсж, МПа	Брас, МПа			
1		5	6	7	8
По соотношению расположения скважин со сторонами света					
Северо-запад					
Порфириты	67,7	8,4	2,67	22,05	37,5
Метасоматиты	70,8	10,6	2,67	20,4	
Северо-восток					
Порфириты	39,9	6,3	2,74	13	34,5

Метасоматиты	52,2	7,9	2,7	17,1	34
Юго-запад					
Известняки	4 3,8	4 ,5	2,7	15,4	38,0
Порфириты	7 7,8	8 ,0	2,7	21,2	36,3
Метасоматиты	8 2,7	9 ,1	2,7	23,3	38,0
Юго-восток					
Известняки	4 6,9	5 ,4	2,72	13,6	36,5
Порфириты	5 4,3	6 ,6	2,72	17,5	36,0
Метасоматиты	5 0,6	6 ,0	2,73	14,5	36,1

Распределение значений физико-механических свойств горных пород по глубине представлено на рисунках – 25 (а,б,в). Для Андезитовых порфиритов график распределения по глубине не строился, так как эти породы вскрыты только одной скважиной и их мощность для такого анализа незначительна.



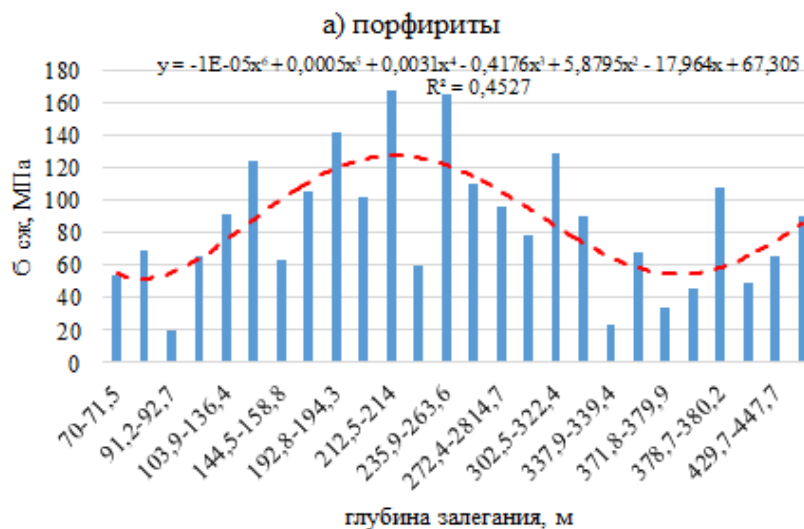
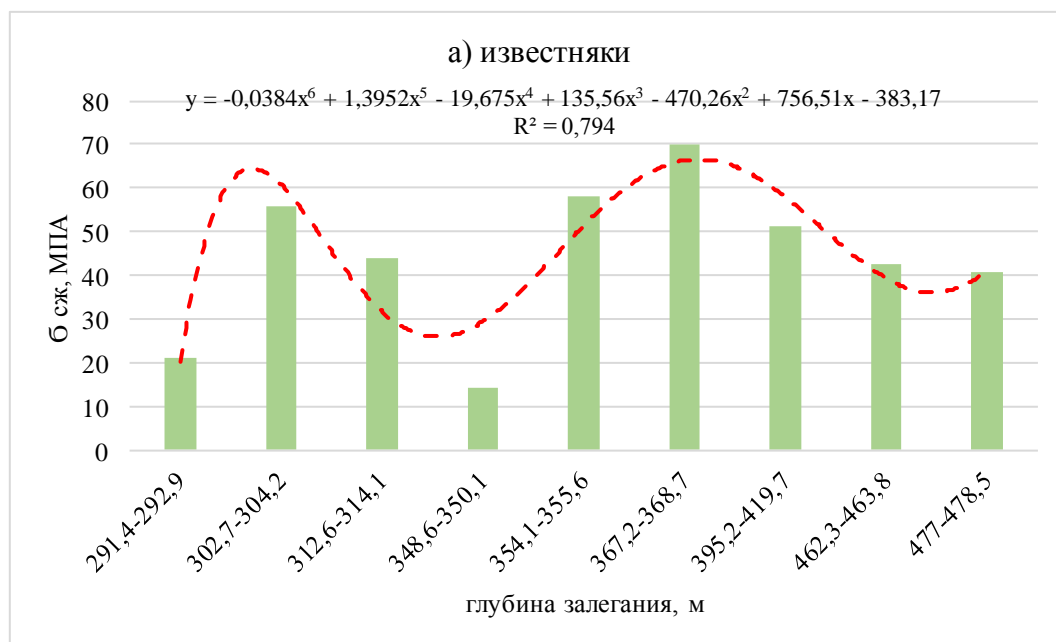


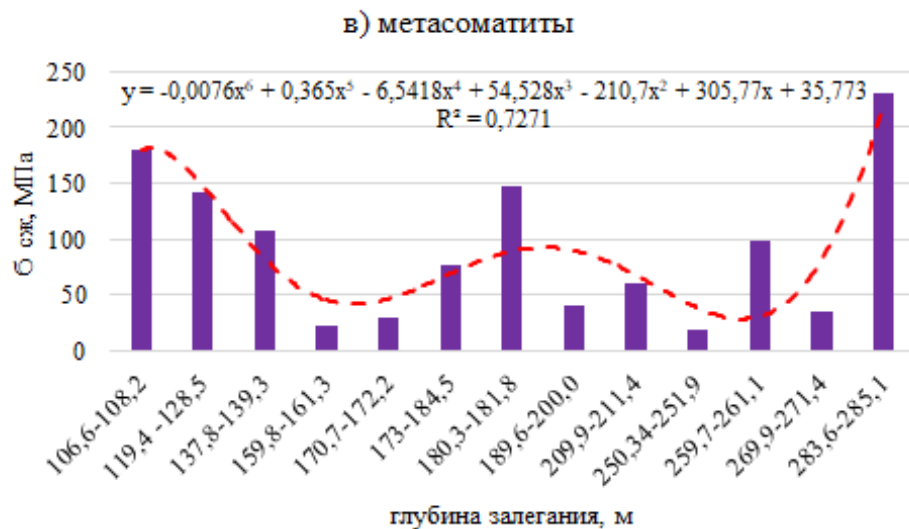
а) известняки, б) порфириты; в) метасоматиты
 Рисунок 25 – Распределение пределов прочности на сжатие по глубине (юго-восток)

Коэффициент корреляции для известняков (рис. 25, а) равен $r = 0.4$ что указывает на слабую связь между изменением прочности на сжатие и глубины. Положительный знак коэффициента корреляции указывает на то, что по мере увеличения глубины увеличивается и прочность на сжатие. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0.63$ при полиномиальной линии тренда (степень 6), что указывает на заметную силу связи двух параметров.

Коэффициент корреляции для порфиритов (рис. 24, б) равен $r = 0.31$ что указывает на слабую связь между изменением прочности на сжатие и глубины; достоверность аппроксимации $R^2 = 0.15$ при полиномиальной линии тренда, что указывает на слабую силу связи двух параметров.

Коэффициент корреляции для метасоматитов (рис. 24, в) равен $r = -0.41$ что указывает на слабую связь между изменением прочности на сжатие и глубины. Отрицательный знак коэффициента корреляции указывает на то, что по мере увеличения глубины прочность на сжатие уменьшается. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0.7$ при полиномиальной линии тренда (степень 6), что указывает на высокую силу связи двух параметров.





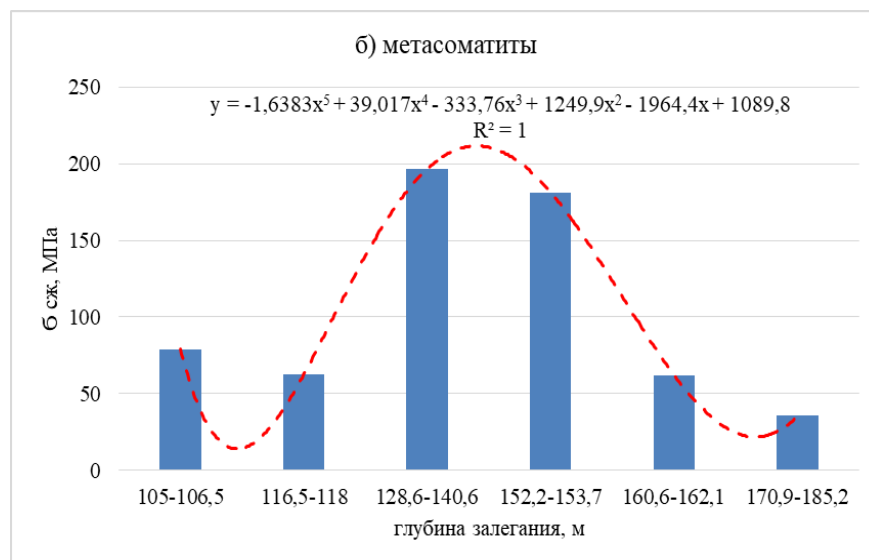
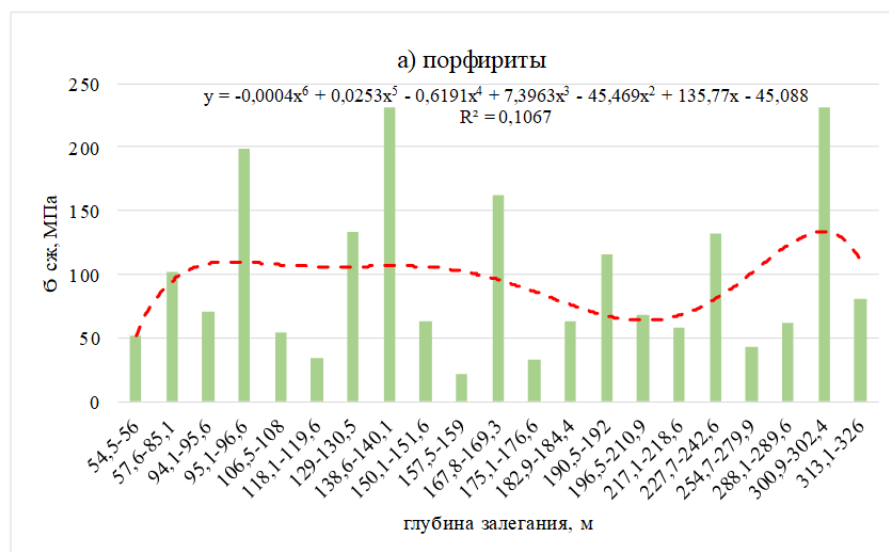
а) известняки, б) порфириты; в) метасоматиты

Рисунок 26 – Распределение пределов прочности на сжатие по глубине (юго – запад)

Коэффициент корреляции для известняков (рис. 26, а) равен $r = 0.11$ что указывает на очень слабую связь между изменением прочности на сжатие и глубины. Положительный знак коэффициента корреляции указывает на то, что по мере увеличения глубины увеличивается и прочность на сжатие. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0.76$ при полиномиальной линии тренда (степень 6), что указывает на высокую силу связи двух параметров.

Коэффициент корреляции для порфиритов (рис. 25, б) равен $r = -0.1$ что указывает на очень слабую связь между изменением прочности на сжатие и глубины. Отрицательный знак коэффициента корреляции указывает на то, что по мере увеличения глубины прочность на сжатие уменьшается. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0.45$ при полиномиальной линии тренда (степень 5), что указывает на умеренную силу связи двух параметров.

Коэффициент корреляции для метасоматитов (рис. 25, в) равен $r = -0.1$ что указывает на очень слабую связь между изменением прочности на сжатие и глубины. Отрицательный знак коэффициента корреляции указывает на то, что по мере увеличения глубины прочность на сжатие уменьшается. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,73$ при полиномиальной линии тренда (степень 6), что указывает на высокую силу связи двух параметров.



а) известняки, б) метасоматиты

Рисунок 27 – Распределение пределов прочности на сжатие по глубине (северо -запад)

Коэффициент корреляции для порфиритов (рис. 27, а) равен $r = 0,07$ что указывает на очень слабую связь между изменением прочности на сжатие и глубины; достоверность аппроксимации $R^2 = 0,1$ при полиномиальной линии тренда (степень 6), что указывает на высокую силу связи двух параметров.

Коэффициент корреляции для метасоматитов (рис. 26, б) равен $r = -0,14$ что указывает на слабую связь между изменением прочности на сжатие и глубины. Отрицательный знак коэффициента корреляции указывает на то, что по мере увеличения глубины прочность на сжатие уменьшается. Достоверность а

ппроксимации $R^2 = 1$ при полиномиальной линии тренда (степень 6), что указывает на весьма высокую силу связи двух параметров.

По графикам распределения пределов прочности на сжатие по глубине видно, что линия тренда не подчиняется линейному закону распределения, на что указывают низкие значения коэффициентов корреляции. Наиболее оптимальным является полиномиальной линии тренда.

На рисунках 28, 29, 30, 31, 32 – приведены результаты построения кругов Мора по которым определялись сцепление и угол внутреннего трения.

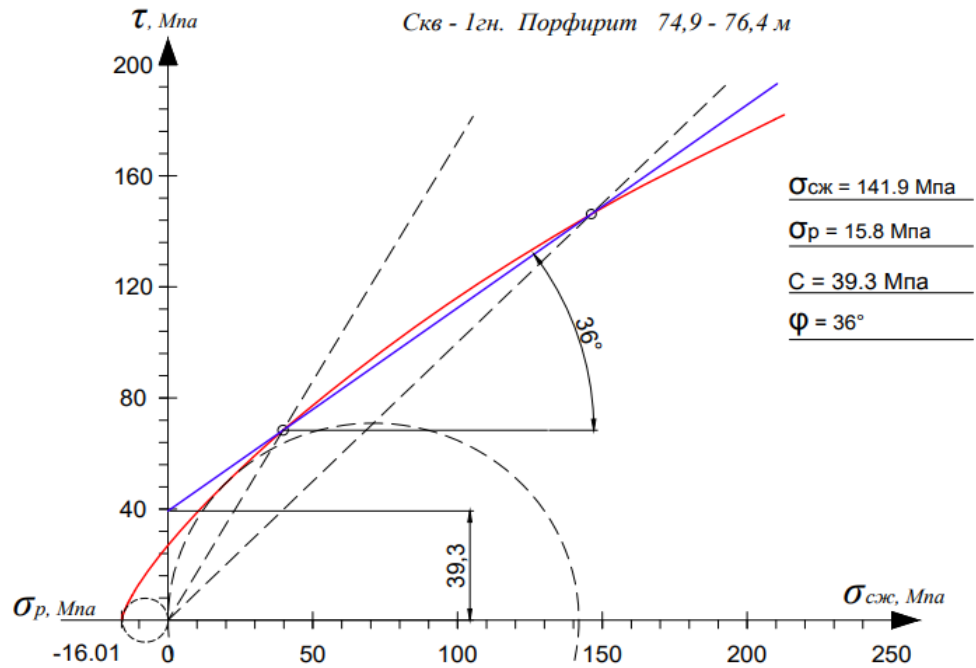


Рисунок 28 – Определение сцепления и угла внутреннего трения по кругам Мора (паспорт прочности)

Скв - 11и. Порфирит 50,4 - 51,5 м

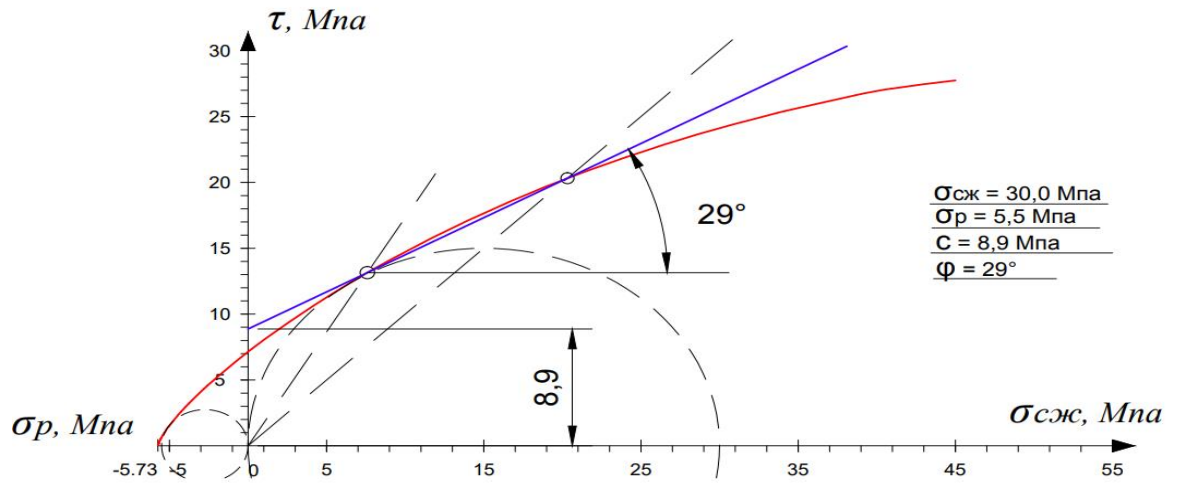


Рисунок 29 – Определение сцепления и угла внутреннего трения по кругам Мора (паспорт прочности)

Скв - 5и. Порфирит 153,4 - 154,9 м

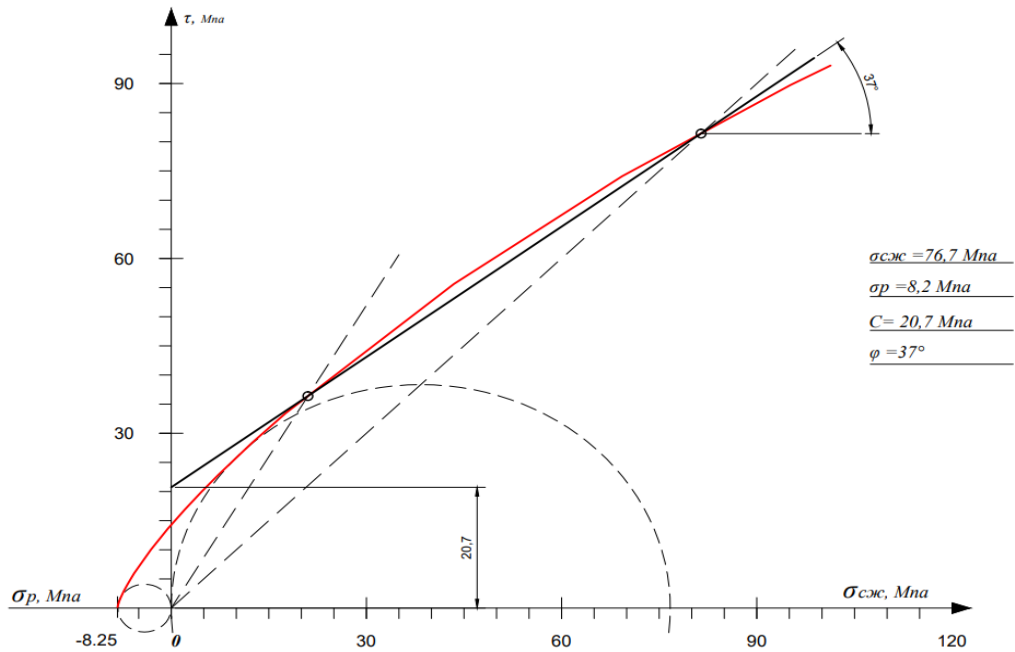


Рисунок 30 – Определение сцепления и угла внутреннего трения по кругам Мора (паспорт прочности)

Скв - 1. Порфирит 141,0 - 142,5 м

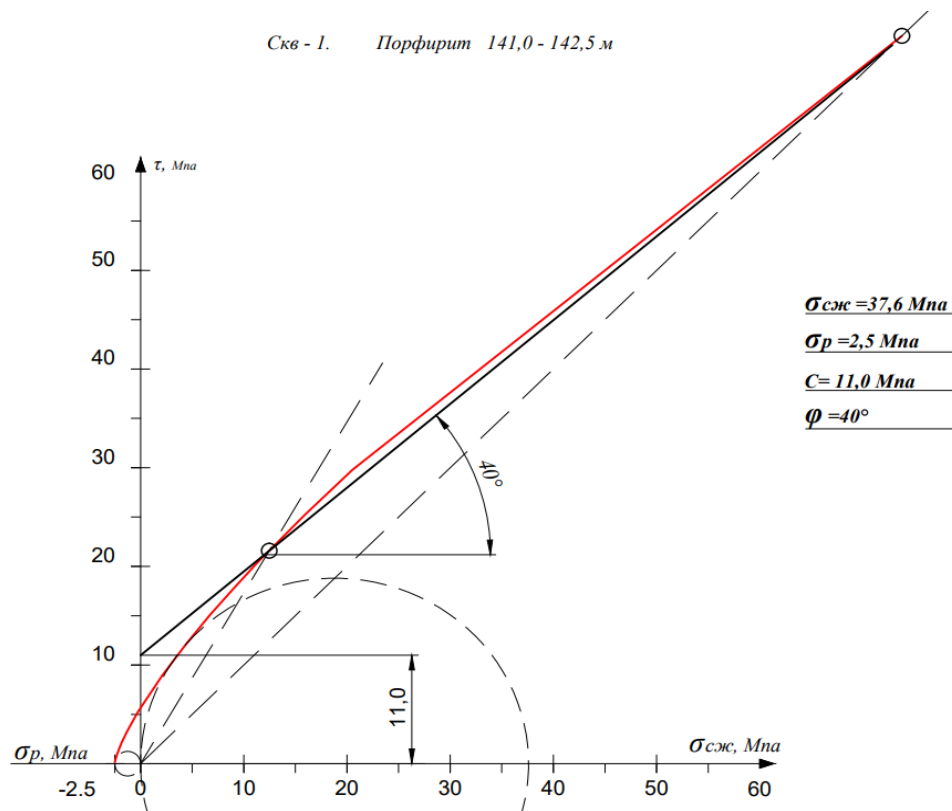


Рисунок 31 – Определение сцепления и угла внутреннего трения по кругам Мора (паспорт прочности)

При обработке результатов расчетов получилась логарифмическая зависимость между значениями сцепления C и углом внутреннего трения (рис. 31).

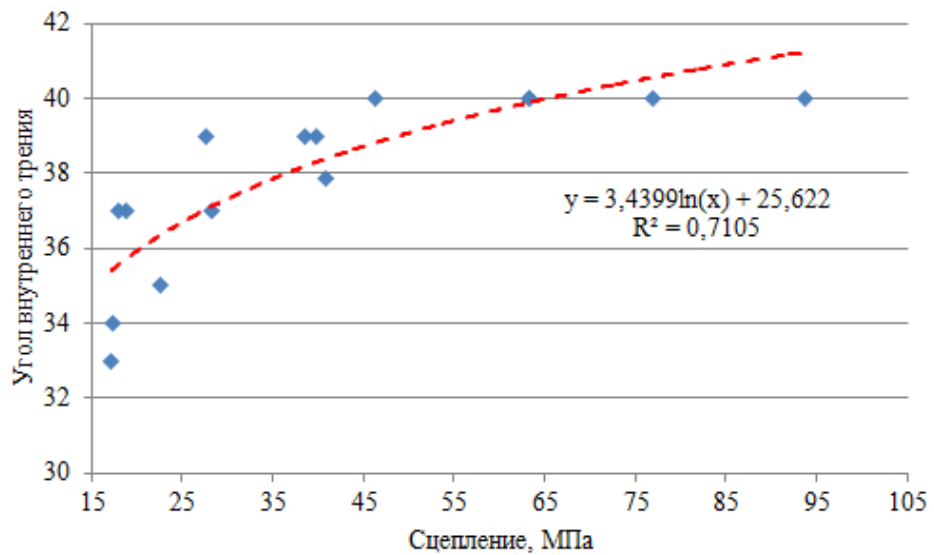


Рисунок 32 – Зависимость между углом внутреннего трения и сцеплением

Скальные породы исследуемого железорудного месторождения представлены следующими породами:

1. Известняки – по прочности- от средних до прочных, средние величины предела прочности на одноосное сжатие изменяются от 44,2 до 52 МПа при среднем значении $C=14,2$ МПа и $\varphi=35,3^\circ$. Известняки в ходе изысканий встретились в южной части карьера, количество и размер блоков известняков растет в сторону юго-востока (лежащего бока).

2. Порфириты - по прочности в целом- весьма прочные, залегают на всех бортах карьера. Средние величины предела прочности на одноосное сжатие изменяются от 39,9 до 89,1 МПа при среднем значении $C=18,7$ МПа и $\varphi=33,5^\circ$.

3. Метасоматиты- по прочности от прочных до весьма прочных. Средние величины предела прочности по бортам на одноосное сжатие изменяются от 55,9 МПа до 102,9 МПа при среднем значении $C=24,7$ МПа и $\varphi=32,6^\circ$. Самая низкая прочность метасоматитов (55,9 МПа) отмечается в юго-восточной части карьера.

4. Магнетитовые руды – встретились один раз в скв. 4и в интервале 173.8 м до 174.1 м, в пробы отобраны не были из-за малой мощности слоя.

Результаты лабораторных исследований скальных пород на прочностные свойства месторождения показывают, что их можно отнести по прочности от средних до весьма прочных.

Более слабые прочностные характеристики имеет юго-восточный борт карьера. Его строение по сравнению с юго-западным характеризуется большей степенью метасоматизма, что сопровождается интенсивной трещиноватостью, более низкими прочностными свойствами пород, (кроме известняка) слагающих массив. Так прочностные свойства метасоматитов в юго-восточной части карьера почти в 2 раза ниже чем в юго-западной части.

В геологическом строении юго- восточной части карьера можно отметить неблагоприятное залегание известняка в сторону выработанного пространства согласно падению борта. В известняках встречаются карстовые пустоты выщелачивания (скв. 1и – провал в интервале 80,4 – 87,7 м), отмечается кавернозность, которая со временем может влиять на прочность пород [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для того чтобы безопасно отработать борт карьера необходима полная геологическая информация. В магистерской работе исследованы физико-механические свойства горных пород карьеров. Далее, с результатами этих данных можно построить борт карьера, обеспечивающий безопасную работу предприятия.

Результаты лабораторных исследований скальных пород по определению прочностных свойства железорудного месторождения показывают, что их можно отнести по прочности от средних до весьма прочных. Более слабые прочностные характеристики имеет юго-восточный борт карьера. Его строение по сравнению с юго-западным характеризуется большей степенью метасоматизма, что сопровождается интенсивной трещиноватостью, более низкими прочностными свойствами пород (кроме известняка) слагающих массив. Так, прочностные свойства метасоматитов в юго-восточной части карьера почти в 2 раза ниже, чем в юго-западной части. Западный борт данного карьера имеет более высокие прочностные свойства. Тенденция увеличения прочностных свойств скальных пород с глубиной прослеживается неявно.

По графикам распределения пределов прочности на сжатие по глубине видно, что линия тренда не подчиняется линейному закону распределения, на что указывают низкие значения коэффициентов корреляции. Наиболее оптимальным является полиномиальной линии тренда.

Результаты испытания кернового материала горных пород показывают разброс 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.

Полученные результаты, в магистерской работе, использовались при выполнении научно-исследовательской работы между Институтом горного дела им. Д.А. Кунаева и АО «ССГПО» в рамках программно-целевого финансирования. АР08053358 «Управление горным массивом для обеспечения безопасной отработки месторождения на основе комплексной геомеханической модели» в рамках программно-целевого финансирования на 2020-2021 гг.

Основным условием, необходимым для обеспечения безопасности отработки месторождения открытым способом является достоверная и полная информация о геомеханическом состоянии массива горных пород: геолого-структурных особенностей месторождения, знания о физико-механических свойствах вмещающих пород и руд, их пространственное изменение.

Несмотря на большое количество существующих методик и ГОСТов, применяемых при лабораторных исследованиях физико-механических свойств горных пород, проведенный анализ текущих проблем в области изучения ФМС, показывает, что вопрос является актуальным.

Качество данных напрямую зависит от выполнения всех требований к бурению и документированию геотехнического бурения.

С условием ограничения имеющейся материальной базы были выбраны на иболее подходящие методы исследования физико-механических свойств.

С целью изучить и исследовать в лабораторных условиях были отобраны образцы ориентированного керна по всем бортам и разных глубин данного железорудного карьера.

Результаты лабораторных исследований скальных пород на прочностные свойства месторождении железорудного показывают, что их можно отнести по прочности от средних до весьма прочных. На основании анализа литологических признаков и физико-механических свойств скальных пород месторождения выделено следующие инженерно-геологические элементы:

1. Известняки – по прочности - от средних до прочных, средние величины предела прочности на одноосное сжатие изменяются от 44,2 до 52 МПа при среднем значении $C=14,2$ МПа и $\varphi=35,3^\circ$.

2. Порфириты - по прочности в целом - весьма прочные, залегают на всех бортах карьера. Средние величины предела прочности на одноосное сжатие изменяются от 39,9 до 89,1 МПа при среднем значении $C=18,7$ МПа и $\varphi=33,5^\circ$.

3. Метасоматиты - по прочности от прочных до весьма прочных. Средние величины предела прочности по бортам на одноосное сжатие изменяются от 55,9 МПа до 102,9 МПа при среднем значении $C=24,7$ МПа и $\varphi=32,6^\circ$. Самая низкая прочность метасоматитов (55,9 МПа) отмечается в юго-восточной части месторождений.

4. Магнетитовые руды – встретились один раз в скв. 4и в интервале 173.8 м до 174.1 м, в пробы отобраны не были из-за малой мощности слоя.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей магистерской работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСО РК 5.04.033-2011 «Послевузовское образование. Магистратура. Основные положения», утвержденные приказом Министра образования и науки Республики Казахстан от 17 июня 2011 года № 261

2. ГОСТ 8.417 – 81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

3. ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214 -74) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования.

4. ГОСТ 12248 – 2010 Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

5. ГОСТ 12071 – 2014 Упаковка, отбор и транспортирование, и хранение зернового материала.

6. ГОСТ 30416 Общие требования к лабораторным требованиям и приборам, оборудованию, и к лабораторным испытаниям.

7. ГОСТ 21153.0 Общие со следующими обязательными дополнениями: объем проб и размеры должны обеспечивать и готовых к испытанию образцов необходимой численности.

8. ГОСТ 21153.0 К испытательным оборудованию для проведения испытания натурным образом: станок шлифовально-обдирочный ЗГ710 любой конструкции с плоским чугунным идеально ровными дисками.

9. ГОСТ 28840 и ГОСТ 9753 испытательные машины или гидравлические прессы, отвечающие требованиям;

10. ГОСТ 3647 – N 12-8 шлифовальный порошок для доводки торцов зерна.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ФМС – физико-механические свойства

ИГД им. Д.А. Кунаева – Институт горного дела имени Д.А. Кунаева

Сцепление – C , Мпа;

Угол внутреннего трения – φ , град;

Предел прочности на сжатие – $\sigma_{сж}$, Мпа;

Предел прочности на растяжение – $\sigma_{рас}$, МПа

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Цирель С.В., Павлович А.А. Проблемы и пути развития геомеханического обоснования параметров бортов карьеров. // Горный журнал. – 2017. - № 7. - С. 39-45.

2 Волков М.А., Соловьев Д.В., Белина Л.А., Пимонов А.Г. Изучение физико механических свойств горных пород на разных этапах разрушения. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2007 С. 16-19. (на русском языке).

3 Калюжный Е.С., Асанов В.А., Съедина С.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 (на русском языке).

4 Рахимов Н.Д., Абдыкаримова Г.Б. Лабораторные исследования физико-механических свойств горных пород Куржункульского месторождения // Горный журнал Казахстана, №11, Алматы, ISSN 2227-4766. С. 28-31.

5 Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Долгоносов В.Н., Радей К., Станькова Г., УДК 622.271.451., Мониторинг состояния откосов уступов и бортов карьера // Здибы 2015г., С. 12-15.

6 Борисов А. А., Механика горных пород и массивов. // Издательство «Недра», 1980 г., С. 23-24.

7 Torabi S. R., Ataei M., and Javanshir M. Применение числа откоса Шмидта для оценки прочности горных пород в конкретных геологических условиях. // Горное дело и окружающая среда. – 2010. – Том 1. - №2. – С. 1-8. (на английском языке).

8 Жиров Д.В., Мелихова Г.С., Рыбин В.В., Сохарев В.А., Климов С.А. Особенности инженерно-геологического изучения массивов скальных пород в целях проектирования глубоких карьеров на примере Ковдорского месторождения магнетитовых и апатитовых руд. Часть 1 // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2016. № 24. С. 15-25.

9 Вылегжанин В.Н., Егоров В.П., Мурашев В.И. Книга. Структурные модели горного массива в геомеханизме геомеханических процессов. // Сибирское отделение «наука» сибирское отделение, 1990 г., С. 53-54.

10 Карташов Ю.М., Матвеев Б.В., Михеев Г.В., Фадеев А.В. Книга. Прочность и деформируемость горных пород. // Издательство «Недра», 1979 г., С. 79-197.

11 Ягодкин Г. И., Кунтыш М. Ф., Ильницкая Е. И., Физико-механические свойства давление и разрушение горных пород. // Москва 1962 г., С. 8-17.

12 ГОСТ 21153.2-84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии» (на русском языке).

13 Борисов А. А., Механика горных пород и массивов. // Издательство «Недра», 1980 г., С. 23-24.

14 Съедина С.А. Геомеханическое обеспечение устойчивости бортов карьера при его углубке. Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD). Алматы, 2018 г.

15 (1989) «Some Implementations of the Boxplot». The American Statistician 43 (1): 50–54. DOI:10.2307/2685173.

16 (1988) «Opening the Box of a Boxplot». The American Statistician 42 (4): 257–262. DOI:10.2307/2685133.

17 Ильницкая Е.И., Определение сопротивления углей сдвигу и разрыву. // Тр. ИГД АН СССР, т. I. Изд-во АН СССР, 1954 г., С. 41-392

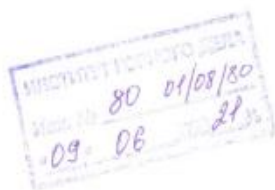
18 Ягодкин Г. И., Кунтыш М. Ф. Физико-механические свойства давление и разрушение горных пород. // Москва 1962 г., С. 8-9.

19 Тимошенко С. П., Гудьер Дж., Теория упругости. // Издательство «Наука» главная редакция физико-математической литературы., Москва 1975 года.

20 Ягодкин Г. И., Чеканов А. Н., Терпигорев А. Н., Определение механических характеристик углей на образцах произвольной формы. Сб. «Разрушение углей и пород». Углетехиздат, 1958.

21 Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф., Книга., Свойства горных пород и методы их определения // Издательство «Недра», Москва 1969 г., С. 40-393.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



УТВЕРЖДАЮ

Директор

Заслуженный изобретатель РК,
академик НАН РК

д-р техн. наук, проф.

Буктуков Н.С.



СПРАВКА

**Об использовании результатов диссертационного исследования
Рахимова Нурлыбека Дюсембековича
«Исследование физико-механических свойств горных пород на
железородных месторождениях»**

Настоящая справка подтверждает использование следующих результатов магистерского диссертационного исследования: современное состояние изучения физико-механических свойств горных пород на железорудных месторождений, результаты и анализ лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород.

Выше обозначенные результаты изложенные в магистерской диссертации, были использованы при реализации научно-технической программы № АР08053358 «Управление горным массивом для обеспечения безопасной отработки месторождения на основе комплексной геомеханической модели» в рамках программно-целевого финансирования на 2020-2021 гг.

Зам. директора по науке,
д-р техн. наук, член-корр. НАН РК

Шамганова Л.С.

и.о. ученый секретарь
канд. техн. наук.

Адилханова Ж.



KZ.P.02.0687

Алматинский филиал АО "НаЦЭкС"
 (наименование подразделения государственной метрологической службы или метрологической службы юридического лица)
 Аттестат аккредитации KZ.P.02.0687 от 04.05.2015 г.
 (номер аттестата аккредитации)

СЕРТИФИКАТ О ПОВЕРКЕ № ВА -03-02-00889

Универсальная испытательная машина

наименование средства измерений (эталона)

Тип, обозначение: VEB заводской № 282/89

(0-4) тс; (0-10) тс; (0-20) тс; (0-40) тс

(диапазон измерений средства измерений)

Изготовитель: Германия

Дата изготовления: 1971 г.

Пользователь: РГП ф-л. РГП НЦ КПМС РК ИГД им Д.А. Кунаева

Поверка проведена в соответствии: (наименование и адрес)

ГОСТ 8.136-74

(обозначение и наименование методики поверки)

с использованием следующих средств поверки: Динамометр эталонный

ДОСМ-3-5 № 820; Динамометр эталонный ДОСМ-3-50 №С1059

(обозначение эталона и вспомогательного оборудования, использованного при поверке)

На основании результатов поверки средство измерений (эталон) признано годным и допущено к применению по классу -, разряду -

с учетом неопределенности измерений U=±1,0% при (k=2; P=95%)

Дата поверки " 18 " Сентября 2018 г. Действителен до " 18 " Сентября 2019 г.

Руководитель отдела (лаборатории) [подпись] Г.А.Сарсенбин

инициалы, фамилия

Поверитель [подпись] К.С. Бекбай

инициалы, фамилия

Оттиск поверительного клейма

СЛ 18 : 0579557

ДКП: 027.НН.ВА



При повторной поверке
 сертификат о поверке
 предъявлять **ОБЯЗАТЕЛЬНО**