

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. Б.Н. ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д 01.17.556

На правах рукописи
УДК 553.08-026.56; 661.822-14.022.1

КОНУШБАЕВА АЙНУР ТОКТОСУНОВНА

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ
ЧАСТОТ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРУШЕНИЯ КРЕПКИХ ГОРНЫХ
ПОРОД**

Специальность 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Бишкек – 2019

Работа выполнена в Кыргызском государственном техническом университете имени И. Раззакова.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор **Султаналиева Р.М.**

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор **Рычков Б.М.**

кандидат физико-математических наук, доцент **Осмонканов А.М.**

Ведущая организация: Ошский технологический университет им. академика М.М. Адышева, 723503, Кыргызская Республика, г.Ош, ул. Н. Исанова, 81

Защита состоится 4-июня 2019 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 01.17.556 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) наук при Кыргызском государственном техническом университете им. И.Раззакова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина адресу: 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова, 66, малый-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова (720044, Кыргызская Республика, г.Бишкек, пр. Мира, 66) и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина (720000, Кыргызская Республика г. Бишкек, ул. Киевская, 44).

Автореферат разослан « ____ » _____ 2019 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 01.17.556
к.ф.-м.н., доцент

Ж.Ж. Доталиева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Одна из главных задач горной науки - разработка новых технологий добычи и обогащения, которые позволят существенным образом уменьшить затраты и потери полезных ископаемых. При разработке полезных ископаемых открытым и подземным способами, наиболее энергоемким технологическим процессом является разрушение горных пород. Разрушение горных пород относится к числу основных технологических процессов горного производства и может осуществляться как направленно при воздействиях на горные породы какими-либо источниками энергии, так и вследствие изменений полей напряжений в недрах при ведении горных работ. Разрушение горных пород должно осуществляться в режиме управляемого на всех стадиях процесса с образованием новых поверхностей и селективным нарушением связей между отдельными структурными элементами горных пород.

Большой объем экспериментальных данных свидетельствует о том, что свойства горных пород, подвергающихся физическому воздействию, изменяются в широком диапазоне. В общем случае изменение параметров, количественно описывающих свойства породы, происходит немонотонно. При определенных температурах нагрева внутри горной породы происходят процессы, вызывающие изменение внутренней природы составляющих породу минералов и зачастую глубокие структурные изменения.

Чтобы уменьшить энергетические затраты на разрушение, или наоборот создать более прочные строительные материалы, необходимо определить прочностные параметры горных пород и минералов, изучить закономерности их деформирования и разрушения. Для горных инженеров представляет интерес поведение горных пород при высоких давлениях и температурах. Инженеров-строителей интересует прочность, трещиностойкость, износостойкость, ударная прочность природных строительных материалов (мрамор, известняк, гранит, песчаник). Для повышения эффективности рудоподготовки изучают механическое поведение горных пород при дроблении и измельчении до подачи руд на обогатительную фабрику. По общим оценкам, при добыче и переработке полезных ископаемых свыше 80% энергии расходуется на процессы дробления и измельчения горных пород на обогатительных фабриках, а остальные энергозатраты приходятся на другие технологические процессы.

Таким образом, разработка метода оптимизации температурно-временного режима электромагнитного поля сверхвысоких частот при его воздействии на характеристики разрушения горных пород, позволяющего принимать рациональные технологические решения по энерго- и ресурсосбережению является актуальной научно-технической задачей.

Связь темы диссертации с научными программами или научно-исследовательскими работами. Работа выполнена в соответствии с планами

научно-исследовательских работ МОиН КР: «Исследование влияния времени и режимов воздействия физических полей на энергоемкость измельчения горных пород», гос. регистр. №0004931, 2008 г.; «Исследование влияния остаточных напряжений на энергоемкость измельчения руд и минералов», гос. регистр. №0006594, 2013г.; «Инновационные технологии решения физико-технических проблем в промышленности КР», гос.регистр. №007064, 2014 г.; «Исследование влияния физико-механических свойств на разрушения руд» гос. регистр. №007107, 2016г.; «Исследование динамики разрушения горных пород под воздействием электромагнитных полей» гос. регистр. №0007107, 2017 г.; «Разработка метода динамического разрушения горных пород и строительных материалов под воздействием физических полей» гос. регистр. №0007494, 2018 г.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка метода оптимизации температурно-временного режима воздействия электромагнитного поля сверхвысоких частот на характеристики разрушения горных пород.

В соответствии с поставленной целью решаются следующие задачи:

- Анализ современного состояния изученности проблемы разрушения, разупрочнения горных пород под воздействием различных физических полей.
- Исследование влияния электромагнитного поля сверхвысоких частот на процесс разрушения крепких горных пород и выбор рациональных режимов и параметров воздействия поля для решения технологических задач.
- Расчетные и экспериментальные определения работы разрушения крепких горных пород при СВЧ-воздействиях.
- Определение предела прочности крепких горных пород и строительных материалов при статическом нагружении с использованием датчика звука с микроконтроллером «Arduino uno».
- Исследование изменения энергоемкости разрушения после воздействии электромагнитных полей сверх высоких частот.

Методы и объекты исследования. При описании механизма изменения механических свойств и прогнозе поведения руд и минералов под воздействием различных полей использовались методы механики разрушения, расчетных и экспериментальных исследований. Для целенаправленного изменения механических свойств горных пород применялось воздействие электромагнитного СВЧ-поля и термическая обработка. Объектом исследования послужили горные породы, руды, отобранные из разных рудных месторождений. Для определения прочностных свойств руд и минералов до и после воздействия физических полей применялись стандартные экспериментальные методы испытаний. При анализе изменения свойств пород и энергоемкости измельчения использовались методы лабораторных измерений и расчетных алгоритмов в среде Матлаб.

Научная новизна полученных результатов.

- Выявлено зависимость работы разрушения горных пород от температуры при воздействии электромагнитных волн высокой частоты.
- Выполнен расчет прочностных параметров влияющих на характер разрушения крепких руд и минералов.
- Определена зависимость частоты облучения от температуры воздействия СВЧ-полей, соответствующая минимальной энергоемкости измельчения крепких горных пород.
- Разработано устройство для определения деформаций и напряжений горных пород при статическом сжатии с применением датчика звука, с микроконтроллером «Arduino uno».

Практическая значимость полученных результатов состоит в:

- разработке способа разупрочнения горных пород, основанного на воздействии СВЧ-волн.
- установления особенностей влияния температуры на работу разрушения горных пород, выборе рационального вида и режима воздействия;
- разработке устройства для определения прочностных показателей горных пород с применением микроконтроллера Arduino uno.
- определении оптимального времени и температуры воздействия СВЧ-волн, соответствующие минимуму энергоемкости измельчения горных пород.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Определение работы разрушения горных пород, с учетом прочностных характеристик и температуры электромагнитного воздействия.
2. Устройство для определения предела прочности горных пород при статической нагрузке, с применением датчика звука, через электронную платформу Arduino uno с электронно-вычислительной машиной. (Устройство для определения предела прочности строительных материалов и горных пород при статической нагрузке / Патент на изобретение КР № 2097, 2018 г.).
3. Расчетная зависимость, которая позволяет определить конкретную минимальную удельную энергоемкость разрушения горных пород при соответствующей продолжительности воздействия СВЧ-волн.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- соответствием результатов экспериментального определения физических характеристик при воздействиях СВЧ-волн с теоретическими расчетами;
- соответствием результатов модельных исследований с экспериментальными данными, в том числе с данными других исследователей.

Личный вклад соискателя. Диссертационная работа является результатом исследований, проведенных автором в 2004-2018 годах.

Лично автор выполнил следующие этапы исследований:

- участие в постановке цели и задач исследований;

- теоретические и экспериментальные исследования механических свойств горных пород и строительных материалов;
- расчеты по установлению зависимости частоты электромагнитных волн от температуры;
- выполнение расчетов энергоемкости измельчения, работы разрушения и прочности горных пород с применением современных программ.

Апробации результатов диссертации. Основные результаты диссертации докладывались на следующих конференциях и семинарах: Международной научной конференции «Физика и физическое образование: достижение и перспективы развития» (Бишкек, 2006г.); Международной научной конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения» (Алматы, 2009 г.); Международной конференции «Информационные технологии и математическое моделирование в науке» (Бишкек, 2011 г.); Республиканской конференции «Актуальные проблемы современной физики и технологии обучения» (Бишкек, 2012 г.); Международной конференции, посвященной памяти академика М.Я.Леонова, «Современные проблемы механики сплошной среды» (Бишкек, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Эволюция современной науки», научно-издательский центр «Аэтерна», г. Казань, 2015 г.); Международной научной конференции посвященной 75-летию академика А. Жайнакова «Информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании» (Бишкек, 2016 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертационной работы опубликовано 18 научных работ, в том числе 17 статей в научных журналах, 1 патент на изобретение. Из них за рубежом опубликованы 4 статьи. Количество баллов индекса цитирования равно 184.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Содержит 150 страниц машинописного текста, включая 21 таблиц, список литературы из 120 наименований, приложения. Иллюстративный материал представлен рисунками, компьютерными графиками в количестве 37.

Автор выражает глубокую признательность, доктору физико-математических наук, профессору Султаналиевой Р.М. за постановку задачи и научное руководство, д.т.н., профессору Тажибаеву К.Т., за ценные советы и содействие при проведении экспериментальных исследований, а также к.ф.-м.н, доценту Козубай И., за помощь в разработке устройства и проведении экспериментальных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность задачи, определены цель и задачи, представлены научная новизна, практическая значимость полученных результатов, а также основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации приведены результаты обзора и научные исследования в области механики деформируемого твердого тела, раскрывается его современное состояние. Приведен анализ результатов исследований влияния физических полей на характеристики разрушения горных пород. Сделан вывод всех методов воздействия физических полей на характеристики разрушения горных пород.

Перспективы управления механическими свойствами пород в технологии извлечения металлов из руд определяются пониманием сущности закономерностей и механизмов процессов преобразования структурного состояния полиминерального агрегата, инициируемых внешним воздействием. Знание этих закономерностей позволяет выбрать рациональный вид и режим физической обработки минерального сырья, обеспечивающий экономическую выгоду, эффективность и экологическую чистоту производства. Традиционное рассмотрение физических процессов, происходящих в горных породах, как в однородных средах, не раскрывает механизма изменения свойств при внешнем воздействии. Только новые подходы, учитывающие гетерогенность горных пород и понимание механизма и причин структурных преобразований минералов и руд, происходящих при воздействии на них физических полей, позволяют обеспечить существенное уменьшение энергоемкости высокотратного процесса измельчения, увеличение выхода извлекаемого металла, за счет улучшения раскрываемости минеральных зерен.

Исследования процессов разрушения были начаты в Московской горной академии (ныне МГГУ). Традиционными и новыми направлениями работ в разные годы занимались А.Ф.Суханов, Б.Н.Кутузов, по разрушению горных пород термическим способом при бурении, резании, дроблении - Р.П. Каплунов, И.М.Панин, А.Н.Коваленко, Л.Н.Завьялов, А.П.Дмитриев, П.И.Воронов, Л.С.Дербенев, С.А.Гончаров, разрушению горных пород при отбойке, дроблении и измельчении электромагнитными способами - В.В.Ржевский, Ю.И.Протасов, Г.Я.Новик, П.И.Воронов, М.Г.Зильбершмидт, В.С.Ямщиков, М.М.Протождяконов, Г.Г.Каркашадзе, Заворыкина Т.К.

Изыскание эффективных способов разрушения крепких горных пород на основе достижений технической физики, электротехники и электроники позволило создать электрофизические способы разрушения. Зарождение и развитие электрофизических способов разрушения горных пород связано с работами Г.И.Бабата, А.В.Варзина, А.В.Нетушила, В.С.Кравченко, А.П.Образцова, В.М.Семенова, В.М.Веремьева, В.В.Устинова, В.Д.Ицхакина, Ю.Н.Захарова, Л.М.Блинова, Н.В.Перова, Г.В.Лукьянова, А.С.Сироты, А.В.Долголаптева и др.

На основании сопоставления результатов различных исследований по изучению разрушения горных пород, предлагается оптимальный режим изменения механических характеристик, способствующие эффективное разрушение крепких горных пород с использованием механических способов, тепловых и электромагнитных полей. Предложены новые методы расчета, современные программы, обоснованы выбор вида энергии и режимов воздействия на разные породы, обеспечивающие уменьшение энергозатрат, рациональное и комплексное использование природного и техногенного минерального сырья.

Во **второй главе** рассмотрен обзор и анализ исследований прочностных и деформационных свойств горных пород от температурных зависимостей при воздействии различных физических полей. Изменение прочностных свойств при нагреве происходит по-разному, в зависимости от особенностей минералогического состава и структурных связей в породах. Прочность предварительно нагретых горных пород более интенсивно снижается под действием резкого охлаждения водой. При этом развивается микротрещиноватость вследствие быстрого охлаждения. Эксперименты показывают, что, при резком охлаждении предварительно нагретых до температуры 600 °С, прочностные показатели их снижаются до двух раз.

При изменении температуры неоднородных твердых тел, какими являются рудосодержащие горные породы, на границах минеральных зерен возникают локальные термические напряжения $\sigma_{ст}$ (структурные термические напряжения) из-за неодинакового значения коэффициентов теплового расширения и модуля упругости различных минералов. При достижении этими напряжениями предельных значений происходит разрыв межзерновых связей, что приводит к дискретному тепловому расширению горных пород.

Структурные термические напряжения, возникающие на границах минеральных зерен, можно оценить лишь для простейших моделей. Например, при плоском контакте двух минеральных зерен структурные термические напряжения определяются:

$$\sigma_{ст} = (\beta_1 + \beta_2)\Delta T / (1/E_1 + 1/E_2), \quad (1)$$

где β_1 и β_2 – коэффициенты линейного теплового расширения двух контактирующих минеральных зерен, у одного из которых эта характеристика больше, а у другого-меньше; E_1 и E_2 –соответственно модули их упругости; ΔT - изменение температуры.

Структурные термические напряжения в горных породах с изменением температуры не могут увеличиваться беспредельно. Максимальное их значение может быть равно пределу прочности (пределу прочности на растяжение или на сдвиг). Приводится выбор и обоснование СВЧ воздействия, как эффективного способа разупрочнения крепких руд и минералов. В процессе рудоподготовки механическое измельчение руды до размера частиц, необходимое для дальнейшей флотации, является наиболее энергоемким и дорогостоящим процессом, требующим 25÷40 кВт·ч электроэнергии на тонну переработанной руды.

На основе этого, для уменьшения энергоемкости разрушения крепких руд, предлагают способы разупрочнения руд с помощью воздействия более эффективных и универсальных в этом смысле физических полей, например, тепловых полей (термическая обработка) и СВЧ-облучение.

В этой же главе приведена оценка влияния поверхностной энергии горных пород на прочностные характеристики горных пород.

В третьей главе представлены теоретико-экспериментальные исследования прочностных и деформационных характеристик свойств горных пород, влияние термического воздействия на прочностные характеристики горных пород, также приводятся результаты исследования влияния СВЧ-волн на технологические характеристики разрушения крепких руд и минералов.

Одноосное напряженное состояние считается простейшим, и с него всегда начинается исследование горных пород. Можно считать, что при одноосном сжатии образца до предела прочности образец линейно деформируется (в первом приближении) в соответствии с обобщенным законом Гука.

Для этого случая проведены серии экспериментов по определению прочностных и деформационных характеристик горных пород.

Предел прочности при одноосном сжатии определен с помощью разработанного нами устройства.

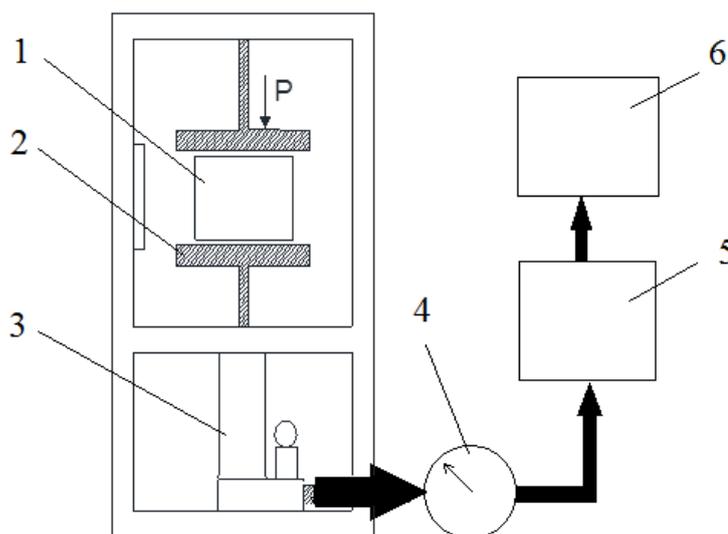


Рис.1 Общая схема устройства (1- место для образца, 2- опора для сжатия, 3- гидравлическая система домкрата, 4- электрический дифференциальный манометр, 5- микроконтроллер, 6- ЭВМ).

Определялся предел прочности при сжатии:

$$\sigma_{сж} = |P_{max}|/S,$$

где S - площадь поперечного сечения образца, P_{max}- разрушающая нагрузка.

Результаты эксперимента (и их статистическая обработка) приводятся в таблице 1.

Таблица 1

| Образец | Диаметр образца $d, \text{мм}$ | Высота образца $h, \text{мм}$ | Разрушающая нагрузка $P, \text{кН}$ | Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}, \text{МПа}$ |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Филлит | | | | |
| обр 1. | 43 | 42 | 201 | 138 |
| обр 2. | 43,4 | 42,2 | 202 | 136,8 |
| обр 3. | 42,9 | 41,5 | 199 | 137,7 |
| обр 4. | 43 | 42,5 | 201,5 | 138,8 |
| обр 5. | 43,5 | 42,3 | 202 | 136,6 |
| Сред.знач. | 43,16 | 42,1 | 201,1 | 137,6 |
| Сред.кв.отк. | 0,232 | 0,28 | 4,4 | 1,2 |
| Коэфф. вариации, % | 0,54 | 0,66 | 2,19 | 0,87 |
| Габбро | | | | |
| обр 1. | 43 | 41 | 377 | 259,7 |
| обр 2. | 43,4 | 41,4 | 379 | 256 |
| обр 3. | 42,9 | 41,5 | 376 | 260 |
| обр 4. | 43 | 40,5 | 377,5 | 260 |
| обр 5. | 43,5 | 41 | 377 | 254,8 |
| Сред.знач. | 43 | 41 | 377,3 | 258,1 |
| Сред.кв.отк. | 0,26 | 0,44 | 0,76 | 2,16 |
| Коэфф. вариации, % | 0,60 | 1,07 | 0,20 | 0,83 |
| Красный песчаник | | | | |
| обр 1. | 42,5 | 41 | 235 | 165,7 |
| обр 2. | 41,9 | 42 | 234,8 | 170,4 |
| обр 3. | 42 | 41,6 | 235,5 | 170 |
| обр 4. | 41,65 | 41,3 | 234,8 | 172,4 |
| обр 5. | 42 | 41 | 235 | 169,5 |
| Сред.знач. | 42,01 | 41,38 | 235,02 | 169,6 |
| Сред.кв.отк. | 0,196 | 0,336 | 0,96 | 1,6 |
| Коэфф. вариации, % | 0,47 | 0,81 | 0,40 | 0,94 |

Для определения деформационных свойств и акустической жесткости применено ультразвуковое прозвучивание. По прохождению поперечных и продольных ультразвуковых колебаний через исследуемый образец породы, по значениям скоростей, рассчитываются упругие характеристики. Экспериментальные данные отражают значения деформационных и акустических характеристик гранита в исходном состоянии и после воздействия СВЧ-волн. Результаты эксперимента приводятся в таблице 2 и на рисунках 2, 3 и 4.

Таблица 2 - Результаты определения деформационных и акустических характеристик гранита месторождения Кыртабылгы в исходном состоянии и после воздействия СВЧ-волн

| Состояние и номер образца | Коэфф. Пуассона | Модуль упругости, 10 ⁴ МПа | Модуль объемной упругости, 10 ⁴ МПа | Модуль сдвига, 10 ⁴ МПа | Акустическая жесткость, 10 ⁶ кг/м ² *с |
|---|-----------------|---------------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Исходное, обр.1 | 0,1695 | 3,1851 | 1,6066 | 1,3616 | 9,3392 |
| | 0,1691 | 3,1976 | 1,6109 | 1,3674 | 9,3556 |
| | 0,1697 | 3,1902 | 1,6100 | 1,3636 | 9,3474 |
| | 0,1702 | 3,1942 | 1,6146 | 1,3646 | 9,3556 |
| | 0,1695 | 3,2022 | 1,6149 | 1,3690 | 9,3639 |
| | 0,1691 | 3,2033 | 1,6137 | 1,3699 | 9,3639 |
| | 0,1695 | 3,1910 | 1,6092 | 1,3642 | 9,3474 |
| | сред. значение | 0,1695 | ,1948 | 1,6114 | 1,3658 |
| сред. квад. отк. | 0,0003 | 0,0061 | 0,0028 | 0,0028 | 0,0085 |
| коэфф. вар, % | 0,2111 | 0,193 | 0,1790 | 0,2073 | 0,0908 |
| После воздействия СВЧ волн, 1 мин., обр.2 | 0,1730 | 2,9670 | 1,5122 | 1,2647 | 9,0289 |
| | 0,1740 | 2,9438 | 1,5052 | 1,2537 | 8,9983 |
| | 0,1743 | 2,9280 | 1,4986 | 1,2466 | 8,9754 |
| | 0,1733 | 2,9862 | 1,5238 | 1,2725 | 9,0598 |
| | 0,1730 | 3,0027 | 1,5305 | 1,2799 | 9,0831 |
| | 0,1741 | 2,9334 | 1,5006 | 1,2491 | 8,9830 |
| | 0,1738 | 2,9593 | 1,5124 | 1,2605 | 9,0212 |
| | сред. значение | 0,1737 | 2,9601 | 1,5119 | 1,2610 |
| сред. квад. отк. | 0,0005 | 0,0255 | 0,0109 | 0,0113 | 0,0367 |
| коэфф. вар, % | 0,3004 | 0,8617 | 0,7231 | 0,9015 | 0,4074 |
| После воздействия СВЧ волн, 3 мин., обр.3 | 0,1719 | 2,9628 | 1,5053 | 1,2640 | 9,0144 |
| | 0,1727 | 2,9504 | 1,5026 | 1,2579 | 8,9991 |
| | 0,1728 | 2,9452 | 1,5003 | 1,2556 | 8,9915 |
| | 0,1723 | 2,9518 | 1,5012 | 1,2589 | 8,9991 |
| | 0,1721 | 2,9622 | 1,5059 | 1,2635 | 9,0144 |
| | 0,1726 | 2,9658 | 1,5100 | 1,2646 | 9,0221 |
| | 0,1730 | 2,9595 | 1,5087 | 1,2614 | 9,0144 |
| | сред. значение | 0,1725 | 2,9568 | 1,5049 | 1,2608 |
| сред. квад. отк. | 0,0003 | 0,0071 | 0,0034 | 0,0032 | 0,0103 |
| коэфф. вар, % | 0,2150 | 0,2410 | 0,2266 | 0,2541 | 0,1152 |
| После воздействия СВЧ волн, 5 мин., обр.4 | 0,17868 | 2,59598 | 1,34655 | 1,10121 | 8,46682 |
| | 0,78827 | 2,59976 | 1,34909 | 1,10269 | 8,4736 |
| | 0,17799 | 2,60618 | 1,34894 | 1,10619 | 8,4803 |
| | 0,17944 | 2,54070 | 1,32119 | 1,07703 | 8,3797 |
| | 0,17851 | 2,57583 | 1,33536 | 1,09283 | 8,4331 |
| | 0,17799 | 2,59372 | 1,34247 | 1,10090 | 8,4600 |
| | 0,17848 | 2,58414 | 1,33954 | 1,09638 | 8,4465 |
| | сред. значение | 0,17857 | 2,58519 | 1,34045 | 1,09675 |
| сред. квад. отк. | 0,00047 | 0,02038 | 0,00914 | 0,00899 | 0,03181 |
| коэфф. вар, % | 0,26847 | 0,78863 | 0,68231 | 0,81982 | 0,37651 |

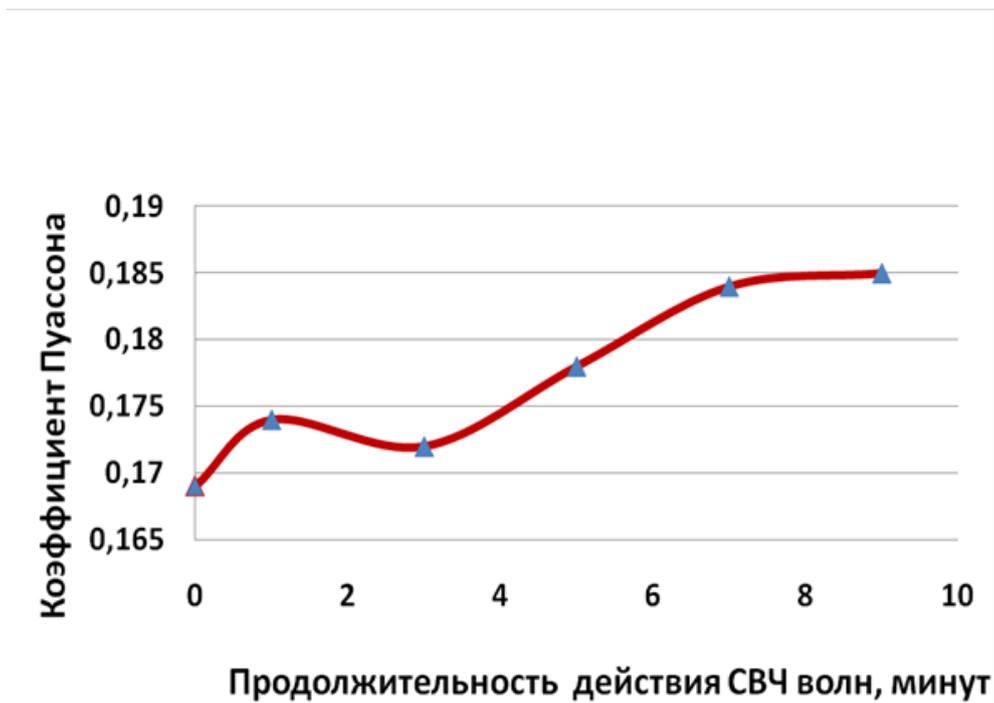


Рис.2. Зависимость коэффициента Пуассона от продолжительности воздействия СВЧ-волн (гранит, Кыртабылгы)

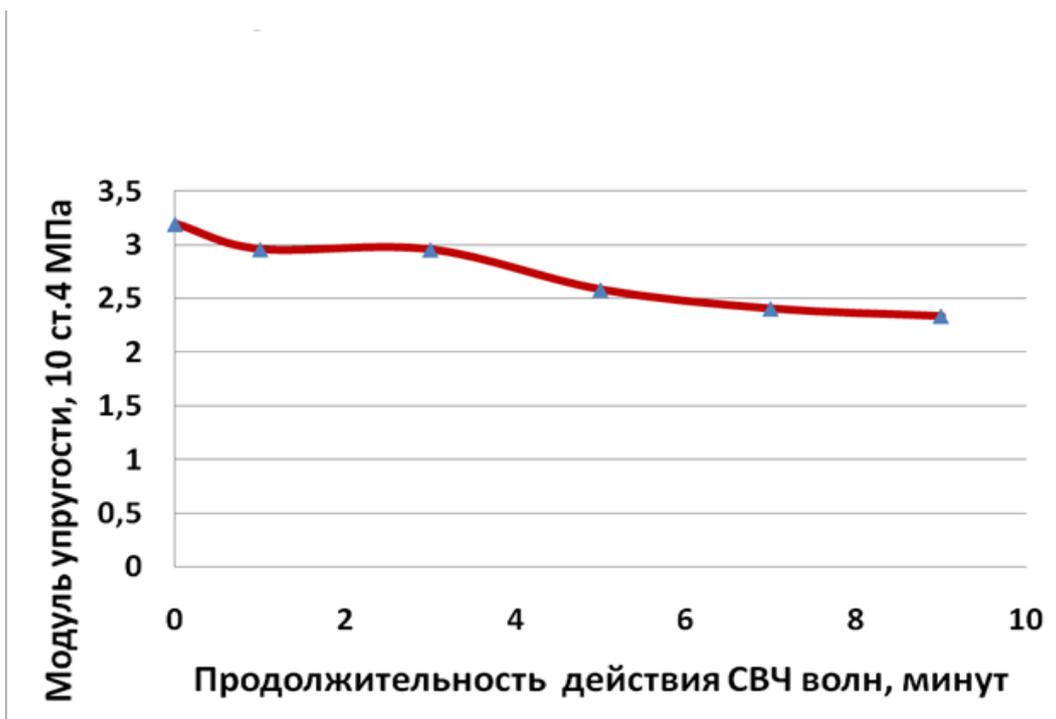


Рис.3. Зависимость модуля упругости от продолжительности воздействия СВЧ волн (гранит, Кыртабылгы)

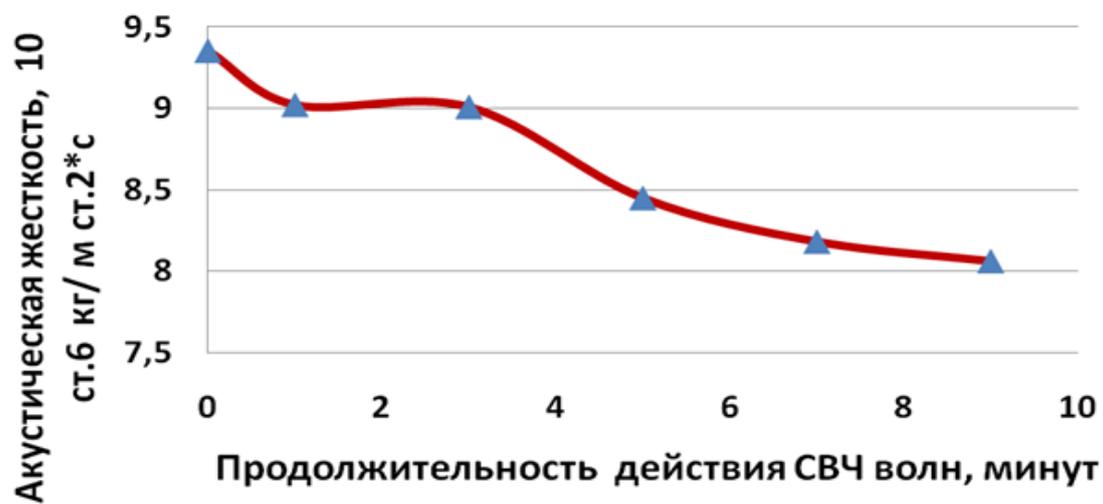


Рис.4. Зависимость акустической жесткости от продолжительности воздействия СВЧ волн (гранит, Кыртабылгы)

СВЧ-излучение также приводит к изменению акустических и деформационных свойств (рис.2, 3, 4 и табл.2). Породы, содержащие металлы, сильно поглощают СВЧ-волны и являются источниками тепла, вызывающими нарушение сплошности горных пород. С увеличением времени воздействия СВЧ-излучения градиент температуры по всему объему образца выравнивается и снимается температурное напряжение. Это приводит к восстановлению крепости горных пород. В таком случае, выбор времени температурного режима нагревания с СВЧ-излучением приводит к максимальному разупрочнению минерала.

На рисунке 3 видно, что характер изменения модуля упругости от времени воздействия СВЧ-волн совпадает с характером изменения показателей измельчения данной породы при идентичных режимах воздействия СВЧ-волн, что свидетельствует о совпадении оптимального времени СВЧ-облучения каждой горной породы для целесообразного изменения его механических свойств и структурного состояния.

Для количественной и качественной оценки поведения горных пород при различных видах напряженного состояния используют обобщенную характеристику, называемую паспортом прочности. Для построения паспорта прочности наиболее приемлемой является теория прочности Мора. В теории Мора постулируется, что ответственными за разрушение являются касательные напряжения, а разрушение носит характер сдвига по площадкам, на которых достигается предельное состояние, причем величина предельного касательного напряжения является функцией нормального напряжения, действующего на площадке скольжения:

$$\tau=f(\sigma).$$

Сцепление (на диаграмме Мора) характеризует наличие и прочность структурных связей, т.е. сцепление количественно равно пределу прочности на срез при отсутствии нормальных напряжений. В простейшем случае огибающую предельных кругов напряжений Мора принимают за прямую:

$$\tau = C + tg\varphi\sigma \quad (3)$$

где C -сцепление, $tg\varphi$ - угол внутреннего трения вычисляются по формулам:

$$C = \frac{\sqrt{\sigma_p \cdot \sigma_c}}{2}, \quad tg\varphi = \frac{\sigma_c - \sigma_p}{2\sqrt{\sigma_p \cdot \sigma_c}} \quad (4)$$

Результаты определения указанных показателей прочности представленных пород при испытании образцов в виде дисков по методу сжатия сферическими инденторами, приведены в таблице 3.

Таблица 3-Прочности при одноосном сжатии и растяжении, сцепления и угла внутреннего трения образцов горных пород

| Название горной породы | № образца | Прочность при одноосном растяжении, МПа | Прочность при одноосном сжатии, МПа | Сцепление, МПа | Угол внутреннего трения, градус |
|---------------------------------------|------------------|---|-------------------------------------|----------------|---------------------------------|
| Гранит красный (Кыртыбылгы) 5 мин | обр. 1(A1) | 4,29 | 107,4 | 10,7 | 67 |
| Гранит красный (Кыртыбылгы) 2 мин | обр.2(A2) | 3,39 | 84,8 | 8,49 | 67 |
| Гранит красный (Кыртыбылгы) эталонный | обр.3 (эталон) | 4,53 | 111 | 11,1 | 67 |
| Гранит серый (Кумтор) 5 мин | обр. 1(B1) | 2,77 | 67,9 | 6,8 | 67 |
| Гранит серый (Кумтор) 2 мин | обр.2(B2) | 2,98 | 70,7 | 7,07 | 67 |
| Гранит серый (Кумтор) эталонный | обр.3 (эталон) | 7,15 | 179 | 17,9 | 67 |

Результаты исследований влияния термического воздействия на прочность при одноосном растяжении и при одноосном сжатии горных пород показали, что: для гранита красного, прочность пород уменьшаются до минимума, когда время облучения составляет 2 минут, а для гранита серого, эффективное время облучения составляет 5 минут.

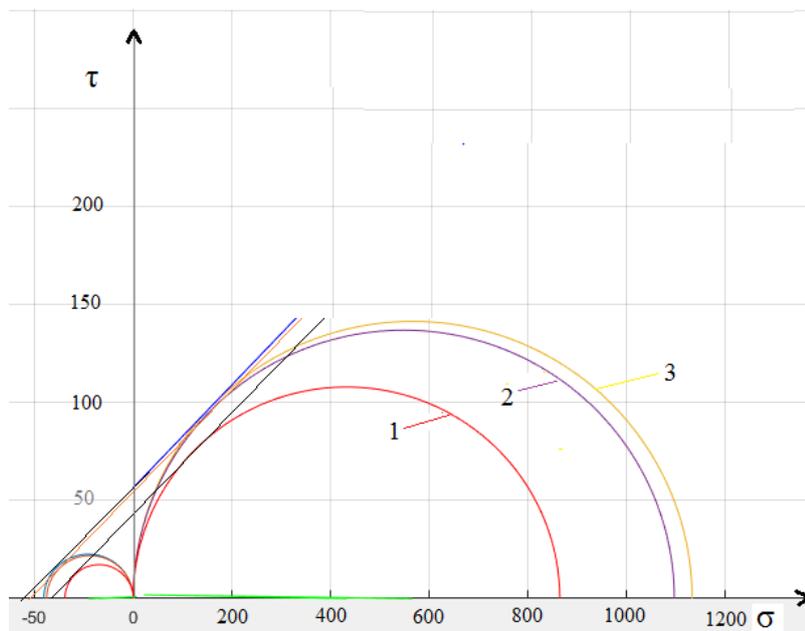


Рис.5. Круги Мора для трех образцов гранита красного (Кыртабылга) при разной продолжительности времени облучения (t);
1- $t=2$ мин, 2- $t=5$ мин, 3- эталонный образец.

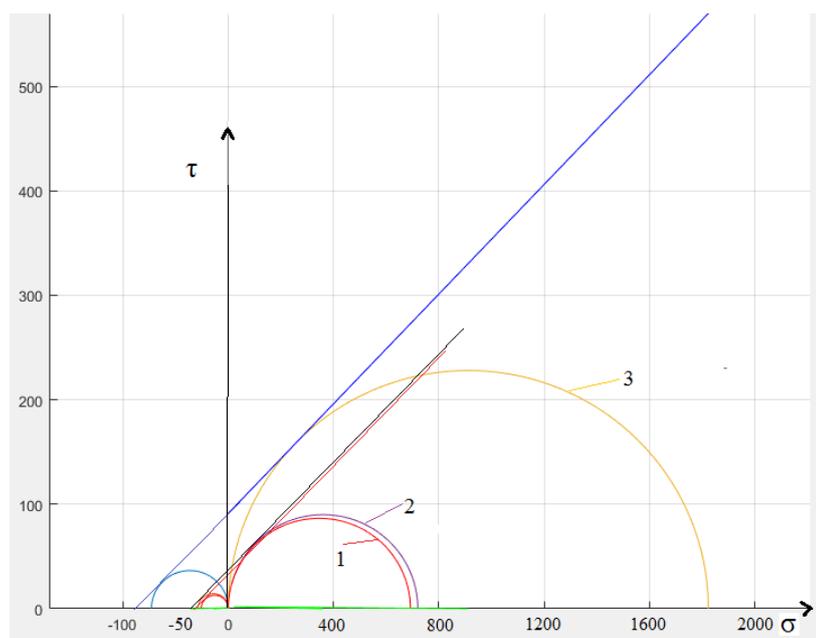


Рис.6. Круги Мора для трех образцов гранита серого Кумторского месторождения при разной продолжительности времени облучения (t);
1- $t=5$ мин, 2- $t=2$ мин, 3- эталонный образец.

Наблюдаемое в данных опытах постоянство тангенса угла внутреннего трения свидетельствует о том, что пределы прочности на растяжение и одноосное сжатие, а также сцепление изменяются (при варьировании условий облучения) прямо пропорционально друг другу. Из этого можно заключить, что механизм разрушения при этом один и тот же.

В четвертой главе изучены экспериментальные определения влияния температуры на работу разрушения горных пород, закономерности изменения энергоемкости разрушения пород от воздействия температуры и частоты СВЧ полей и приведены соответствующие расчеты.

Сжимающие усилия интенсивности P приводят к совершению работы разрушения горных пород. Работа A расходуется на разрыв связей в породе, на прорастание трещин; в конечном счете – на разрушение породы. Работа разрушения определяется по формуле:

$$A = \beta P V_0 T - P^2 V_0 / (2 Y_0), \quad (5)$$

где β - коэффициент объемного теплового расширения породы; T - среднее значение температуры в объеме V_0 ; Y_0 - объемный модуль упругости породы.

Объемный модуль упругости породы

$$Y_0 = E / [3(1 - 2\mu)], \quad (6)$$

где E - модуль Юнга, μ - коэффициент Пуассона.

Были проведены исследования образцов под воздействием переменного напряжения. Для проведения эксперимента использованы образцы из песчаника и мрамора цилиндрической формы: ($h=5$ см; $d=4$ см). Первый образец контрольный (без нагрева, при комнатной температуре 27°C), другие образцы при влиянии электромагнитного воздействия до температур 59°C , 97°C и 134°C .

С помощью генератора высоковольтного переменного напряжения задаются различные значения разности потенциалов по длине исследуемого образца горной породы. При задании значений высоковольтного переменного напряжения от 2000 В до 2540 В, лазерный термометр регистрировал значения температур от 27°C до 134°C .

Работа разрушения вычислена с учетом следующих данных: для песчаника – $V_0=0,0000628$ м³, $E=1,8 \cdot 10^4$ МПа, $\mu=0,25$, $\beta=11,6 \cdot 10^{-6}$ 1/⁰С и мрамора – $V_0=0,0000628$ м³, $E=5,6 \cdot 10^4$ МПа, $\mu=0,25$, $\beta=5,5 \cdot 10^{-6}$ 1/⁰С.

Таблица 4. -Расчетные значения работы разрушения песчаника

| № | Название горной породы | P , кН | A , кДж, работа разрушения |
|---|---|----------|------------------------------|
| 1 | Песчаник, (исходный) при температуре 27°C | 30 | 2,92 |
| 2 | | 70 | 6,83 |
| 3 | | 110 | 10,74 |
| 4 | | 150 | 14,64 |
| 5 | | 190 | 18,55 |
| 6 | | 230 | 22,45 |
| 1 | Песчаник, при температуре 59°C | 30 | 2,11 |
| 2 | | 70 | 4,94 |
| 3 | | 110 | 7,77 |
| 4 | | 150 | 10,59 |
| 5 | | 190 | 13,42 |
| 6 | | 230 | 16,25 |

| | | | |
|---|--|-----|------|
| 1 | Песчаник, при температуре 97 ⁰ С | 30 | 1,29 |
| 2 | | 70 | 3,01 |
| 3 | | 110 | 4,73 |
| 4 | | 150 | 6,45 |
| 5 | | 190 | 8,17 |
| 6 | | 230 | 9,89 |
| 1 | Песчаник, при температуре 134 ⁰ С | 30 | 0,59 |
| 2 | | 70 | 1,38 |
| 3 | | 110 | 2,16 |
| 4 | | 150 | 2,95 |
| 5 | | 190 | 3,74 |
| 6 | | 230 | 4,52 |

Таблица 5. -Расчетные значения работы разрушения мрамора

| № | Название горной породы | <i>P</i> , кН | <i>A</i> , кДж, работа разрушения |
|---|--|---------------|-----------------------------------|
| 1 | Мрамор, (исходный) при температуре 27 ⁰ С | 40 | 1,85 |
| 2 | | 60 | 2,78 |
| 3 | | 80 | 3,71 |
| 4 | | 100 | 4,63 |
| 5 | | 120 | 5,55 |
| 6 | | 140 | 6,48 |
| 7 | | 160 | 7,41 |
| 1 | Мрамор, при температуре 59 ⁰ С | 40 | 1,34 |
| 2 | | 60 | 2,01 |
| 3 | | 80 | 2,68 |
| 4 | | 100 | 3,35 |
| 5 | | 120 | 4,02 |
| 6 | | 140 | 4,69 |
| 7 | | 160 | 5,36 |
| 1 | Мрамор, при температуре 97 ⁰ С | 40 | 1,01 |
| 2 | | 60 | 1,22 |
| 3 | | 80 | 1,63 |
| 4 | | 100 | 2,04 |
| 5 | | 120 | 2,45 |
| 6 | | 140 | 2,85 |
| 7 | | 160 | 3,26 |
| 1 | Мрамор, при температуре 134 ⁰ С | 40 | 0,373 |
| 2 | | 60 | 0,56 |
| 3 | | 80 | 0,746 |
| 4 | | 100 | 0,933 |
| 5 | | 120 | 1,12 |
| 6 | | 140 | 1,31 |
| 7 | | 160 | 1,49 |

Далее, используя результаты численных экспериментов (таблица 4 и 5), получены графики зависимости работы разрушения от внешней нагрузки при различных значениях температуры.

Поскольку в состав пород входят различные минералы (имеющие различные значения тепловых параметров, электрических и магнитных характеристик, температур фазовых переходов), то для некоторых пород достижение максимума предела прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ будет зависеть от температуры нагревания. Например, максимум $\sigma_{сж}=f(T)$ для песчаника наблюдается при $T=320-340$ К. При сопоставлении двух образцов выявлено, что работа разрушения песчаника больше, чем для мрамора при одинаковых ростах значений температуры рис. 7.

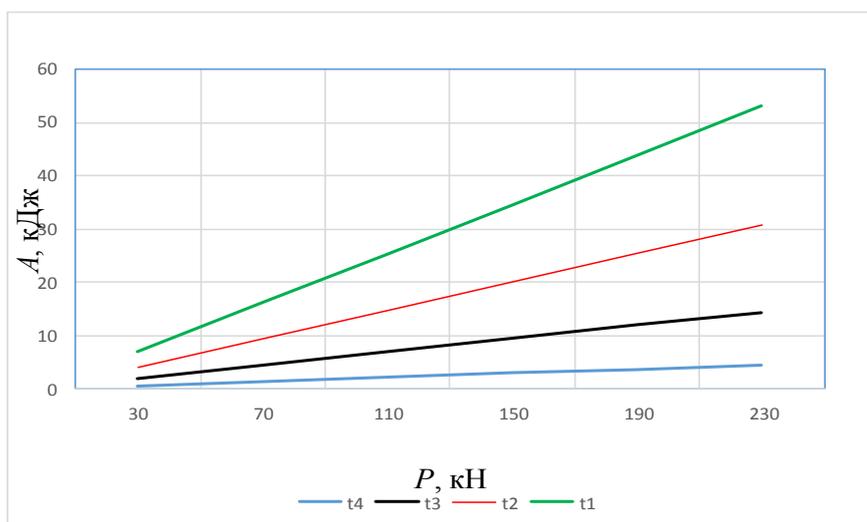


Рис. 7. График зависимости работы разрушения от внешней нагрузки песчаника при различных температурах ($t_1=27^{\circ}\text{C}$, $t_2=59^{\circ}\text{C}$, $t_3=97^{\circ}\text{C}$ и $t_4=134^{\circ}\text{C}$)

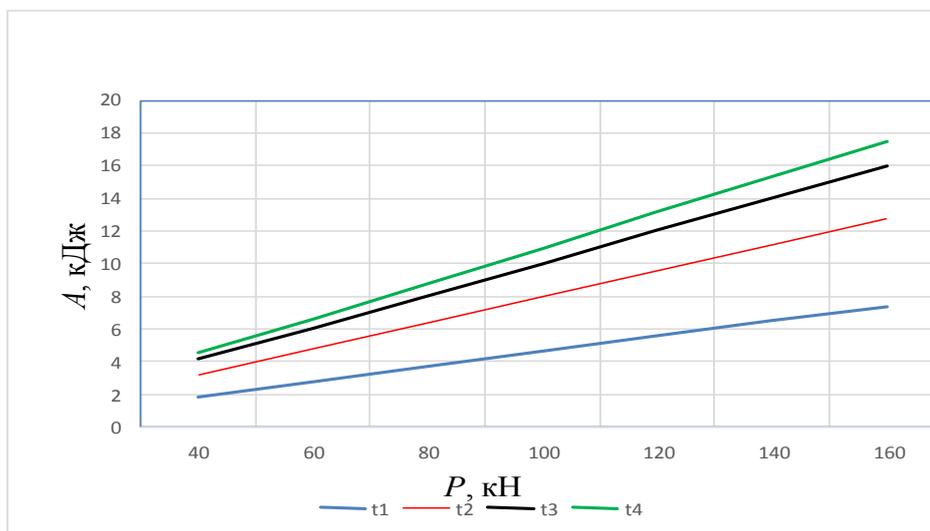


Рис. 8. График зависимости работы разрушения от внешней нагрузки для мрамора при различных температурах ($t_1=134^{\circ}\text{C}$, $t_2=97^{\circ}\text{C}$, $t_3=59^{\circ}\text{C}$ и $t_4=527^{\circ}\text{C}$)

Как видно из графика, с увеличением температуры работа разрушения горных пород уменьшается, что подтверждается теорией разрушения горных пород (рисунки 7 и 8).

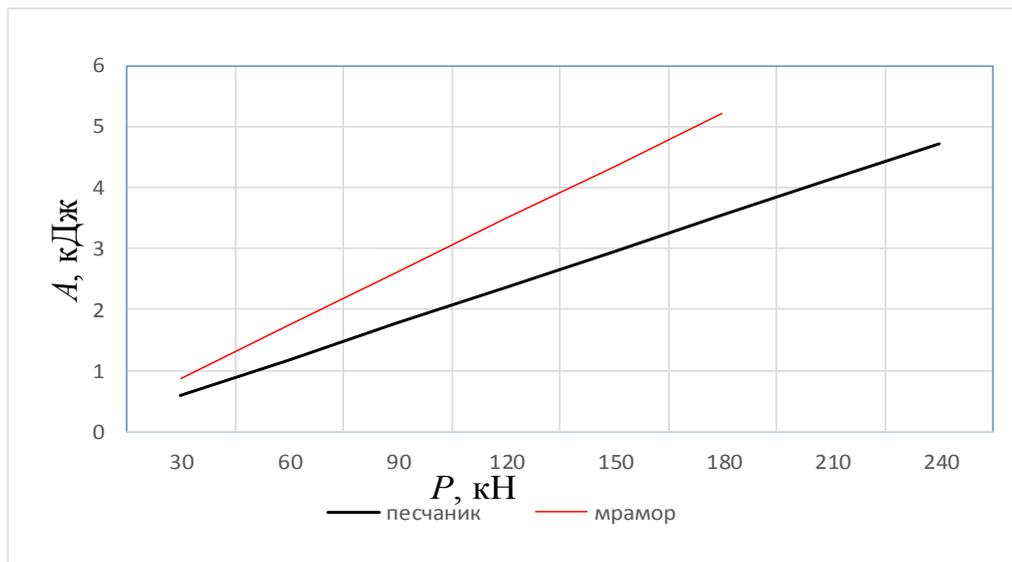


Рис. 9. График сравнения зависимости работы разрушения при температуре 134⁰С для двух горных пород от внешней нагрузки (1-песчаник, 2-мрамор)

Эффективность разрушения крепких руд и минералов с помощью СВЧ-волн заключается в интенсивности распространении энергии электромагнитных волн в образце за относительно короткое время (минуты), что обуславливает существенное изменение межзерновые связи и показателей прочности.

Разрушение горных пород (руд) при воздействии СВЧ-волнами связано с их нагревом, так как, энергия СВЧ-поля поглощается породой и превращается в тепловую энергию. При СВЧ-облучении температура породы повышается на dT :

$$dT = \frac{Nt}{Vc\rho} \quad (7)$$

где N – мощность СВЧ-поля; t – время воздействия СВЧ-поля; c – удельная теплоемкость породы; ρ –плотность породы; V – объем образца породы.

Использован еще один способ влияние СВЧ-излучение на образцы горных пород с учетом закона теплового излучения. Если диорит и филлит можно рассматривать как твердое тело, поглощающее всё падающее на него излучение то, найдя максимум в его спектре, можно приближенно определить температуру образца.

Точка спектра, на которую приходится максимум частоты излучения, определяется из закона смещения Вина:

$$\nu = (\nu/b) \cdot T \quad (8)$$

где ν - скорость СВЧ-волны, $b= 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К, постоянная Вина, T -температура нагрева породы, соответствующая разному времени облучения.

Используя температуру воздействия СВЧ-волн, соответствующую минимальной энергоемкости, определены частота облучения и энергоемкость разрушения.

Удельной энергоемкостью разрушения породы (энергоемкостью) называют удельный расход энергии на разрушение единичного объема породы:

$$q = W / V \quad (9)$$

С учетом экспериментальных данных прочностных и деформационных характеристик определялась минимальная энергоемкость разрушения породы:

$$q = 6ct \sigma^2 k (1 - 2\mu) / (\beta^2 T Y^2) \quad (10)$$

Минимальная энергоемкость разрушения определена с учетом следующих данных: диорита Токтозанского месторождения $V=0,00005 \text{ м}^3$, $\rho=2700 \text{ кг/м}^3$, $m=0,135 \text{ кг}$, $c_0 = 0,65 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$, $\sigma=250 \text{ Мпа}$, $Y=7,4 \text{ Па}$, $\mu=0,3$, $k=1,2$, $\beta=7\cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$ и филлита серого Кумторского месторождения - $c_0 = \frac{0,79 \text{ кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$, $V=0,00005 \text{ м}^3$, $\rho=3000 \text{ кг/м}^3$, $m=0,15 \text{ кг}$, $\sigma=375 \text{ Мпа}$, $Y=7,4 \text{ Па}$, $\mu=0,3$, $k=1,2$, $\beta=7\cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$. Температура породы для разной длительности воздействия СВЧ-волн определена по формуле (7).

Все расчетные данные и графические анализы результатов получены с помощью программы MATLAB.

Таблица 6 - Результаты определения частоты облучения, энергоемкости разрушения и температуры воздействия СВЧ-волн диорита Токтозанского месторождения.

| t, мин время СВЧ облучения | t, °С температура нагрева породы | q, Дж/см³ энергоемкость разрушения | ν, ГГц частота облучения |
|---|--|--|---------------------------------------|
| 1 | 128 | 72 | 4,13 |
| 2 | 383 | 45 | 67,570 |
| 3 | 566 | 32 | 86,420 |
| 5 | 813 | 43 | 111,860 |
| 7 | 967 | 57 | 127,720 |
| 9 | 1074 | 62 | 138,740 |
| 10 | 1115 | 64 | 142,960 |

На графиках 11, 13, 15 и 16 показаны зависимости частоты излучения от температуры и энергоемкость разрушения от частоты излучения.

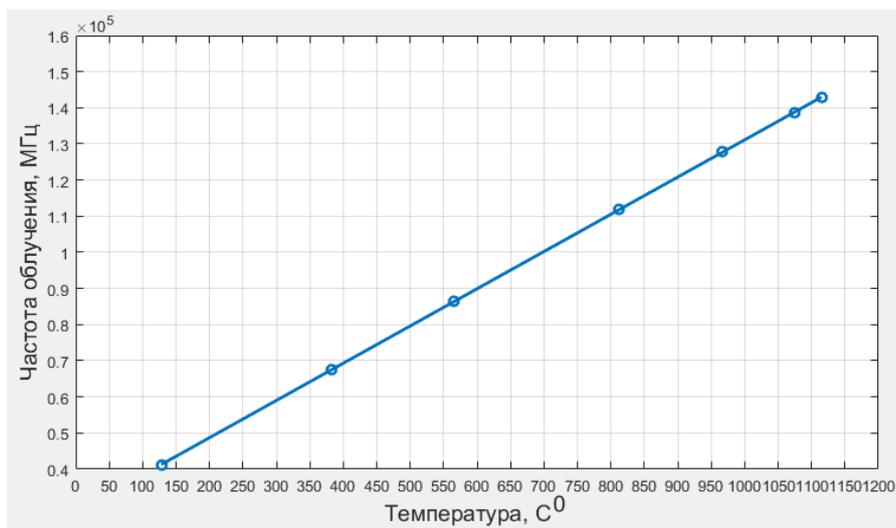
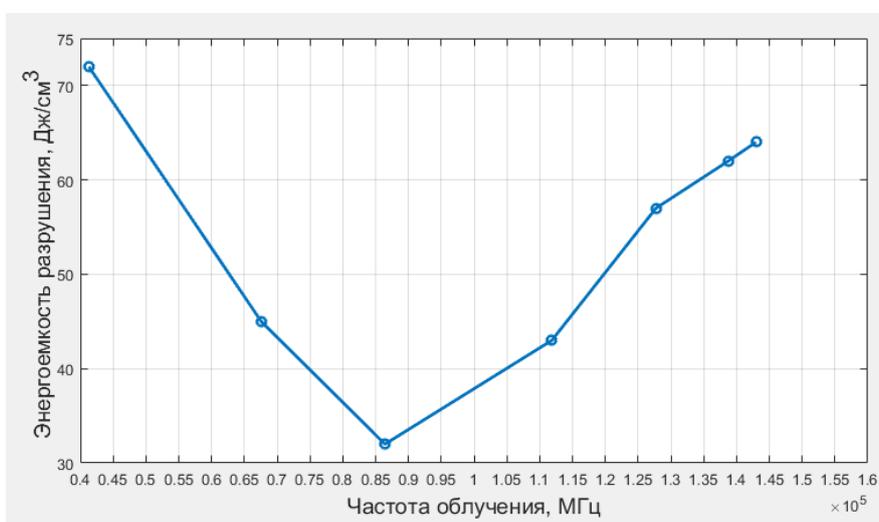


Рис.10. Зависимость частоты облучения диорита от



температуры воздействия СВЧ-волн

Рис.11. Зависимость энергоемкости разрушения диорита от частоты облучения

Таблица 7- Результаты определения частоты облучения, энергоемкости разрушения и температуры воздействия СВЧ-волн филлита серого Кумторского месторождения.

| t, мин время СВЧ облучения | t, °С температура нагрева породы | q, Дж/см³ энергоемкость разрушения | ν, ГГц частота облучения |
|---|--|--|---------------------------------------|
| 1 | 31 | 85 | 31,310 |
| 2 | 222 | 72 | 50,990 |
| 3 | 356 | 63 | 64,790 |
| 5 | 533 | 69 | 83,020 |
| 6 | 598 | 74 | 89,710 |
| 7 | 649 | 68 | 94,970 |
| 9 | 726 | 67 | 102,900 |

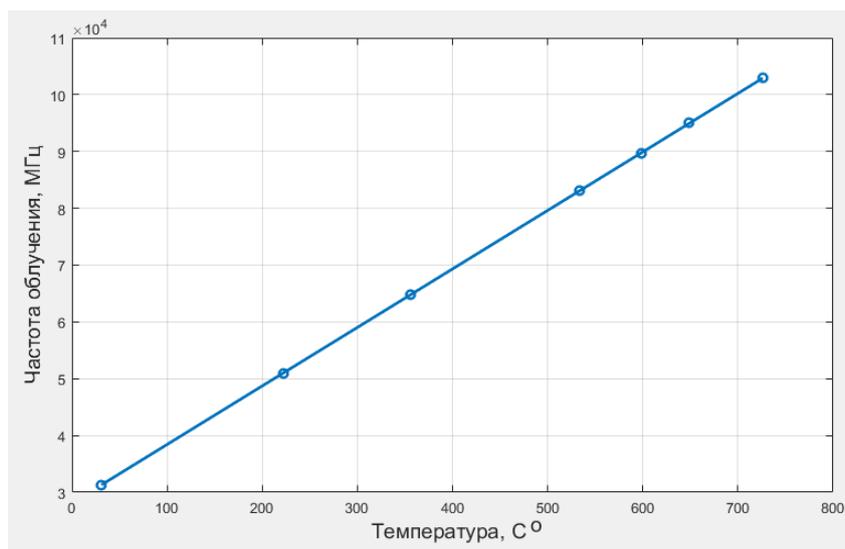


Рис.12. Зависимость частоты облучения филлита от температуры воздействия СВЧ-волн

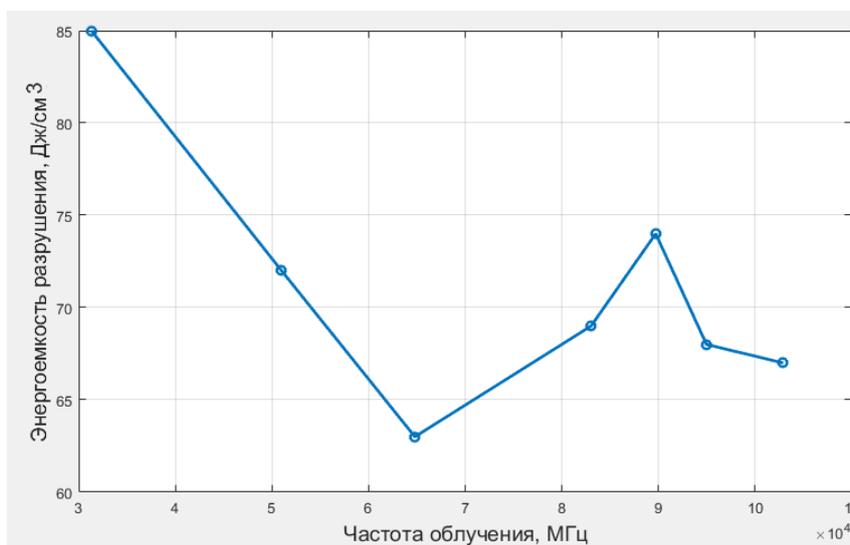


Рис.13. Зависимость энергоемкости разрушения филлита от частоты излучения.

Из рисунков 11 и 13 видно, что минимальные значения энергоемкости разрушения для диорита Токтозанского месторождения соответствует частоте излучения 86,420 ГГц, а для филлита серого Кумторского месторождения - 64,790 ГГц.

Ниже, в таблицах 8 и 9, приведены результаты расчетного и экспериментального определения величины минимальной удельной энергоемкости разрушения, для диорита Токтозанского месторождения и филлита серого Кумторского месторождения при разных продолжительностях температуры воздействия СВЧ-волн. Как видно, из таблицы, отклонение расчетных данных удельной энергоемкости измельчения от экспериментальных значений составляет в среднем 10-15 %.

Таблица 8-Экспериментальные и расчетные значения минимальной энергоемкости разрушения от температуры воздействия СВЧ-волн диорита Токтозанского месторождения.

| t, мин время СВЧ облучения | t, °C температура нагрева породы | с, кДж/кг·K удельная теплоемкость | q, Дж/см ³ энергоемкость разрушения | |
|----------------------------------|---|---|---|-------------------------------|
| | | | Расчетное значение | Экспериментальное значение |
| 1 | 128 | 0,81 | 67.3089 | 72 |
| 2 | 383 | 0,975 | 43.0543 | 45 |
| 3 | 566 | 1,14 | 28.2404 | 32 |
| 5 | 813 | 1,462 | 36.2856 | 43 |
| 7 | 967 | 1,788 | 56.7451 | 57 |
| 9 | 1074 | 2,11 | 57.7920 | 62 |
| 10 | 1115 | 2,275 | 62.4779 | 64 |

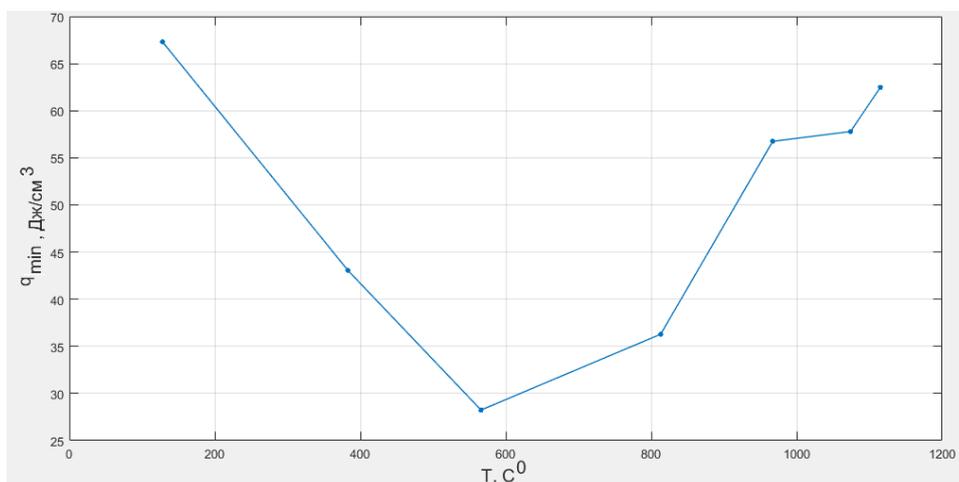


Рисунок 14. Зависимость энергоемкости разрушения от температуры воздействия СВЧ-волн (диорит, Токтозан)

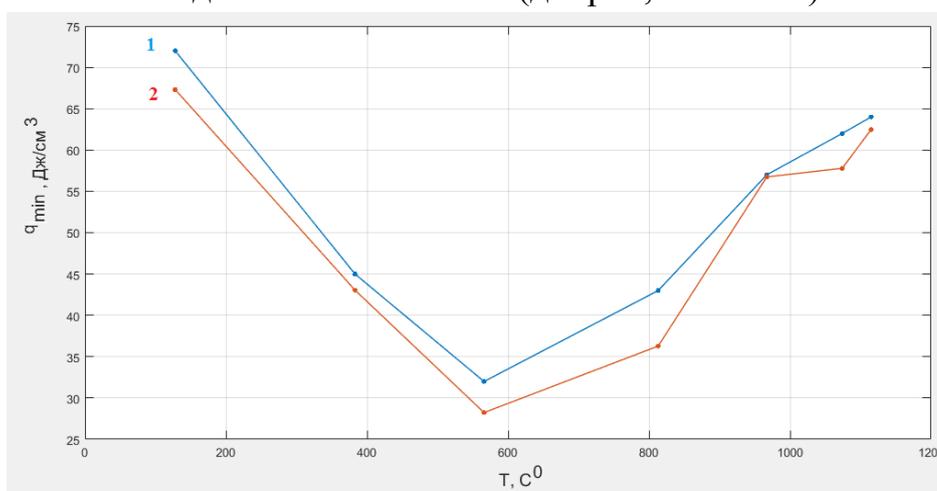


Рис. 15. График экспериментального -1 и расчетного -2 определения удельной энергоемкости разрушения диорита Токтозанского месторождения

Таблица 9 - Экспериментальные и расчетные значения минимальной энергоемкости разрушения от температуры воздействия СВЧ-волн филлита серого Кумторского месторождения.

| t, мин время СВЧ облучения | t, °C температура нагрева породы | c, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ удельная теплоемкость | q, Дж/см ³ энергоемкость разрушения | |
|----------------------------------|---|--|---|-------------------------------|
| | | | Расчетное значение | Экспериментальное значение |
| 1 | 31 | 0,99 | 79.976 | 85 |
| 2 | 222 | 1,18 | 67.643 | 72 |
| 3 | 356 | 1,38 | 58.087 | 63 |
| 5 | 533 | 1,78 | 64.453 | 69 |
| 6 | 598 | 1,975 | 68.089 | 74 |
| 7 | 649 | 2,17 | 62.154 | 68 |
| 9 | 726 | 2,57 | 61.742 | 67 |

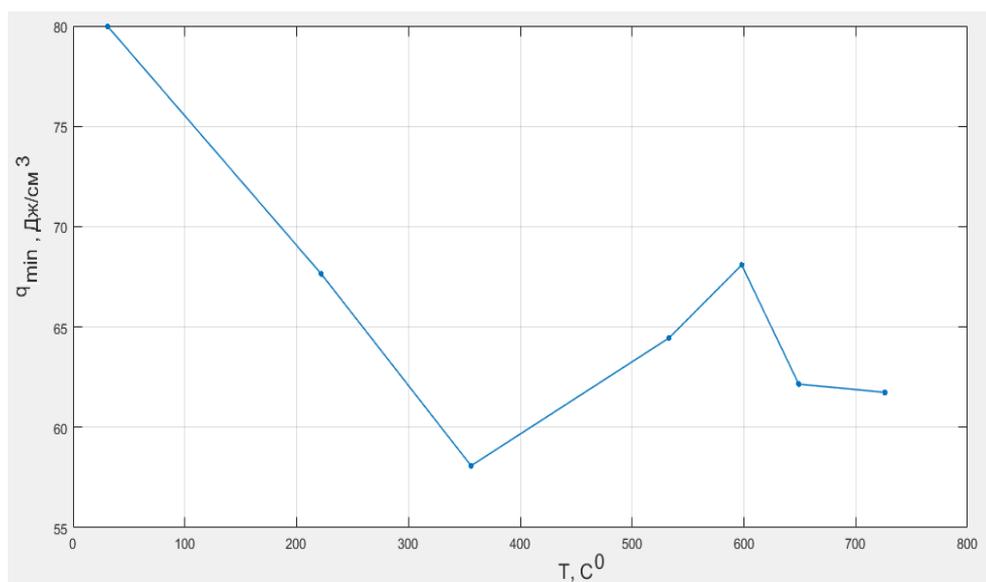


Рис.16. Зависимость энергоемкости разрушения от температуры воздействия СВЧ-волн (филлит серый, Кумтор)

Из графиков 18 и 20 видно, для диорита и филлита при температурах облучения в пределах 356 °C и 566 °C энергоемкость разрушения исследуемых пород уменьшается, а при дальнейшем увеличении температуры воздействия СВЧ-волн энергоемкость разрушения руды изменяется не линейно. При температуре от 0 до 300 °C (от 273 до 573 К от) энергоемкость измельчения горных пород изменяется практически по линейному закону.

Следует также отметить, что температуры 566 °C и 356 °C соответствуют 3-х минутному СВЧ-воздействию для данных пород, дальнейшее увеличение времени воздействия волн, наоборот, приводит к увеличению энергоемкости разрушения.

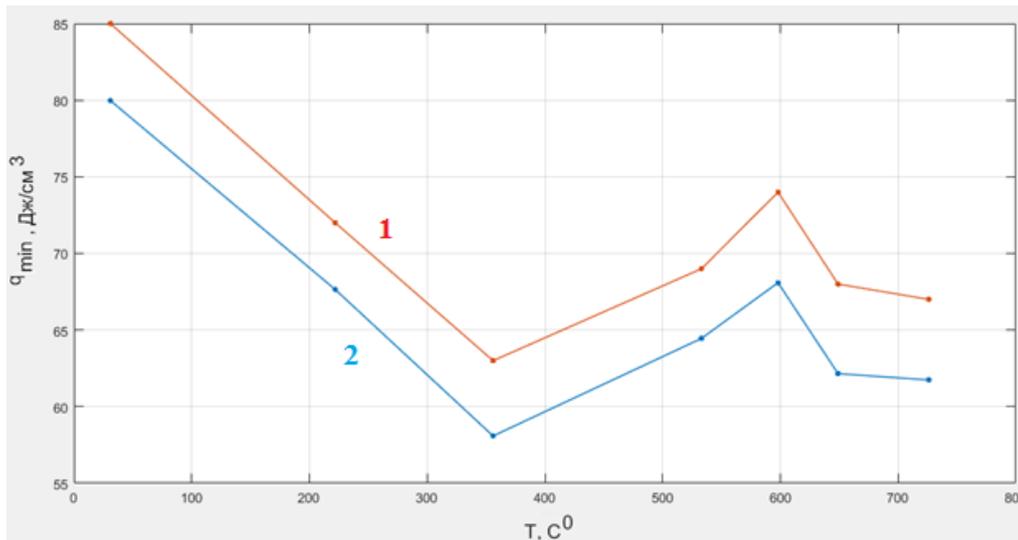


Рис. 17. Графики экспериментального -1 и расчетного -2 определения удельной энергоемкости разрушения филлита Кумторского месторождения.

На рисунках 15 и 17 показаны результаты расчетного и экспериментального определения минимальной удельной энергоемкости разрушения диорита Токтозанского месторождения и филлита Кумторского месторождения. Сравнения результатов показывает хорошую сходимость и согласованность экспериментальных и расчетных данных.

ВЫВОДЫ

Наиболее существенные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Потверждено, что из всех видов воздействий разных физических полей наиболее эффективным видом источника энергии является воздействие электромагнитных полей сверхвысоких частот. Эффективность процесса разрушения повышается с увеличением частоты, а энергоемкость снижается, поскольку разрушение породы при этом происходит в большей мере от растягивающих напряжений.

2. При воздействии СВЧ-облучения выявлено, что в горной породе развиваются, в частности, термомеханические напряжения, разрушение структурных связей, которые обуславливают снижение прочности крепких руд и полиминеральных горных пород.

3. Установлено, что воздействие СВЧ-волн на разные полиминералы, имеющие различные коэффициенты теплового расширения, обуславливают ослабление межзерновых связей, которое приводит к разупрочнению лучше, чем в мономинеральных горных породах.

4. Выявлено влияние температуры на работу разрушения горных пород под действием электромагнитных волн высоких частот. Расчеты определения работы разрушения крепких горных пород с учетом температуры воздействия СВЧ-волн, являются согласованными с экспериментальными результатами.

5. Результаты определения минимальной удельной энергоемкости разрушения диорита Токтозанского месторождения и филлита Кумторского

месторождения показывают хорошую сходимость и согласованность с экспериментальными и расчетными данными.

6. Установлено, что для исследованных горных пород и руд, время СВЧ-облучения 3-5 минуты, приводит к уменьшению до минимума удельной энергоемкости измельчения, а дальнейшее увеличение времени воздействия СВЧ-волн, наоборот, может привести к упрочнению горной породы.

7. Разработан менее трудоемкий способ определения предела прочности горных пород при статической нагрузке, с применением датчика звука, через электронную платформу Arduino uno с электронно-вычислительной машиной. (Устройство для определения предела прочности строительных материалов и горных пород при статической нагрузке / Патент на изобретение КР № 2097, 2018 г.).

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. **Конущбаева А.Т.** Исследование влияния СВЧ-облучения на эффективность измельчения руд и минералов. [Текст] / Тажибаев К.Т., Султаналиева Р.М., Ташмаматов А.С., Конущбаева А.Т. // Материалы международной научно-технической конференции «Инновации в образовании, науке и технике», Т.2., Бишкек, 2006.-С. 144-151.
2. **Конущбаева А.Т.** Изучение прочностных свойств горных пород при высоких температурах. [Текст] / Султаналиева Р.М., Конущбаева А.Т., Бекджигитова Т. // 49-я научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов, Бишкек, 2007.- С.305-308.
3. **Конущбаева А.Т.** Исследование прочностных свойств горных пород при воздействии физических полей. [Текст] / Султаналиева Р.М., Тажибаев К.Т., Ташмаматов А.С., Конущбаева А.Т. // Известия КГТУ им.И.Раззакова №12, Бишкек, 2007. – С.182-185.
4. **Конущбаева А.Т.** Физические основы электротермического разрушения горных пород. [Текст] / Султаналиева Р.М., Конущбаева А.Т., Соколова В. В. // 50-ой научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов, Бишкек, 2008.- С.305-308.
5. **Конущбаева А.Т.** Оценка влияния СВЧ-облучения на энергоемкость измельчения горных пород [Текст] / Тажибаев К.Т., Султаналиева Р.М., Ташмаматов А.С., Конущбаева А.Т.// ИЗВЕСТИЯ КГТУ им. И. Раззакова - Бишкек, 2009. - С. 132-137.
6. **Конущбаева А.Т.** Оценка влияния СВЧ-облучения на разупрочнения горных пород. [Текст] / Султаналиева Р.М., Конущбаева А.Т. // Материалы 3-Международной научной конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения». Т.3., Алматы, 2009. - С. 132-136.
7. **Конущбаева А.Т.** Влияния воздействия СВЧ волн на энергоемкость измельчения горных пород. [Текст] / Султаналиева Р.М., Конущбаева А.Т. // Материалы международной конференции” Информационные технологии и

математическое моделирование в науке”, Известия КГТУ, №22, Бишкек, 2011. – С.82-86.

8. **Конушбаева А.Т.** Методы расчета свободной энергии поверхности [Текст] / Конушбаева А.Т. // Материалы международной научной конференции, посвященной памяти академика М. Я. Леонова «Современные проблемы механики сплошной среды», Бишкек, 2012.- С.286-292.

9. **Конушбаева А. Т.** Поверхностная энергия минералов и горных пород. [Текст] / Тажибаев К.Т., Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т. // Известия КГТУ им. И. Раззакова, №29, Бишкек, 2013.- С.310-315.

10. **Конушбаева А.Т.** Исследование эффективной поверхностной энергии горных пород [Текст] / Конушбаева А.Т. // Вестник Ошского Государственного Университета. №2, 2-издание, г.Ош, 2013. –С. 132-135.

11. **Конушбаева А.Т.** Определение параметров структурного состояния горных пород. [Текст] / Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т. //Материалы международной научно-практической конференции «Эволюция современной науки», научно-издательский центр Аэтерна, г.Казань, 2015.-с.159-163.

12. **Конушбаева А.Т.** Разупрочнение горных пород под воздействием СВЧ-волн. [Текст] / Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т. // «Современные проблемы механики сплошных сред” Вестник Института Геомеханики и освоения недр НАН КР, г. Бишкек, 2014. –С. 68-73.

13. **Конушбаева А.Т.** Определение структур остаточных напряжений горных пород рентгенографическим методом. [Текст] / Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т. // Вестник КНУ им. Ж. Баласагына «Физика и техника», г. Бишкек, 2014. – С. 112-117.

14. **Конушбаева А. Т.** Исследование остаточных напряжений на основе структурно-механической модели. [Текст] / Тажибаев К.Т., Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т. // Материалы международной конференции, посвященной 75-летию академика А. Жайнакова «Информационные технологии и математическое моделирование в науке, технике и образовании», г. Бишкек, 2016.- С.189-195.

15. **Конушбаева А.Т.** Определение температуры разупрочнения крепких руд от времени воздействия СВЧ волн. [Текст] /Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т. //Материалы международной научно-практической конференция «Новая наука: теоретический и практический взгляд», г. Нижний Новгород, РФ. 2016. – С.21-24

16. **Конушбаева А.Т.** Результаты экспериментальных исследований поверхностной энергии горных пород. [Текст] /Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т., Козубай И. //Журнал «Проблемы современной науки и образования» № 3, издательство «Проблемы науки», г. Москва 2018. -с.5-9.

17. **Конушбаева А.Т.** Устройство для определения предела прочности строительных материалов и горных пород при статической нагрузке. [Текст] / Султаналиева Р.М., Конушбаева А.Т. Козубай И. // Патент на изобретение КР № 2097 30.08.2018.

01.02.04-«Деформацияланган катуу телолордун механикасы» адистиги боюнча физика-математика илимдеринин кандидаты илимий даражасын изденүү үчүн жазылган **Конущбаева Айнур Токтосуновнанын «Катуу тоо тектеринин талкалоо мүнөздөмөлөрүнө өтө жогорку жыштыктагы электромагниттик талаалардын таасири»** темадагы диссертациясынын
КОРУТУНДУСУ

Негизги сөздөр: тоо тектери, полиминералдар, жумшартуу, майдалоо, бекемдик коэффициенти, салыштырма энергосыйымдуулук, өтө чоң жыштыктагы толкундар, бир октогу кысуу, деформациялык мүнөздөмөлөрү, талкалоо жумушу.

Изилдөө объектиси болуп ар кандай тоо кендеринен тандалып алынган тоо тектери эсептелинет.

Диссертациянын максаты: тоо тектерин талкалоодо негизги мүнөздөмөлөрдү оптималдаштыруу ыкмасын иштеп чыгуу.

Изилдөө ыкмасы: диссертациялык иште, ар кандай физикалык талаалардын таасири менен тоо тектеринин жана рудалардын механикалык касиеттеринин өзгөрүшүнүн механизмдин изилдөөдө, аналитикалык жана эксперименталдык методдор колдонулду. Тоо тектеринин механикалык касиеттерин өзгөртүү үчүн өтө жогорку жыштыктагы электромагниттик талаалар жана жылуулуктун таасири колдонулду.

Изилдөөнүн илимий жактан жаңылыгы: жогорку жыштыктагы электромагниттик толкундардын таасири астында тоо тектерин талкалоодо аткарылган жумушка температуранын кылган таасири аныкталды; рудалардын жана минералдардын талкалоо касиеттерине таасир этүүчү катуулук параметрлерин эсептөө Matlab программасынын жардамы менен алынды; катуу тоо тектеринин минималдуу энергосыйымдуулугуна туура келген температурадан нурдануу жыштыгынын көз карандылыгы аныкталды; тоо тектеринин деформациясын жана чыңалуусун статикалык кысуу жолу менен аныктоо үчүн, Arduino Uno электрондук платформасына туташтырылган түзүлүш иштелип чыкты.

Колдонуу тармагы: илимий жоболор жана алынган жыйынтыктар практикалык жана теориялык мааниге ээ жана илимдин бул тармагында кийинки изилдөөлөрдү жүргүзүүгө пайдалуу. Тоо тектерин жумшартуу ыкмасы тоо-кен казып алуу ишканаларында, тоо кендерин талкалоо жана майдалоо үчүн сунуш кылынат.

РЕЗЮМЕ

**диссертации Конушбаевой Айнур Токтосуновны на тему: «Влияние электромагнитных полей сверхвысоких частот на характеристики разрушения крепких горных пород» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04. -
Механика деформируемого твердого тела**

Ключевые слова: горная порода, руда, полиминералы, разупрочнение, измельчение, коэффициент прочности, удельная энергоемкость, СВЧ-волны, одноосное сжатие, деформационные характеристики, работа разрушения.

Объектом исследования послужили горные породы, руды, отобранные из разных рудных месторождений.

Целью диссертационной работы является разработка метода оптимизации характеристик разрушения горных пород.

Методы исследования: в диссертационной работе, при описании механизма изменения механических свойств горных пород и руд под воздействием различных полей, использовались методы механики разрушения, аналитические и экспериментальные исследования. Для изменения механических свойств горных пород применялось воздействие электромагнитного СВЧ поля и термическая обработка.

Научная новизна исследования: выявлено влияние температуры на работу разрушения горных пород под действием электромагнитных волн высокой частоты; выполнен аналитический расчет прочностных параметров, влияющих на характер разрушения крепких руд и минералов в среде Matlab; определена зависимость частоты облучения от температуры воздействия СВЧ полей, соответствующая минимальной энергоемкости измельчения крепких горных пород; разработано устройство для определения деформаций и напряжений горных пород при статическом сжатии, соединенный через электронную платформу Arduino uno.

Область применения: научные положения и полученные результаты имеют практическое и теоретическое значения, и могут служить для дальнейших исследований в данной области науки. Способ разупрочнения горных пород рекомендуется для применения в процессе разрушения, дробления и измельчения в горно-обогатительных комбинатах.

SUMMARY

Konushbaeva Ainur Toktosunovna's dissertation on the topic: «The influence of electromagnetic fields of ultrahigh frequencies on the characteristics of the destruction of strong rocks» for the degree of candidate of physical and mathematical sciences in the specialty 01.02.04. - Mechanics of a deformable solid

Key words: rock, ore, polymineral, softening, grinding, strength factor, specific energy, microwave waves, uniaxial compression, deformation characteristics, fracture work.

The object of the study were the rocks, ores, selected from different ore deposits.

The aim of the dissertation work to develop a method for optimizing the characteristics of rock destruction.

Research methods: on the t dissertation work, when describing the mechanism of changing the mechanical properties of rocks and ores under the influence of various fields, methods of fracture mechanics, analytical and experimental studies were used. To change the mechanical properties of rocks, an electromagnetic microwave field effect and heat treatment were applied.

Scientific novelty of the research: detected temperature influence on the work of rock destruction under the influence of high-frequency electromagnetic waves; an analytical calculation of the strength parameters affecting the nature of the destruction of strong ores and minerals in the Matlab program; the dependence of the frequency of irradiation on the temperature of exposure to microwave fields, corresponding to the minimum energy intensity of grinding strong rocks; a device was developed for determining the deformations and stresses of rocks under static compression, connected via an electronic platform Arduino uno.

Application area: scientific principles and findings have practical and theoretical value, and can be used for further research in this field of science. The method of rock softening is recommended for use in the process of destruction, crushing and grinding in mining and processing plants.