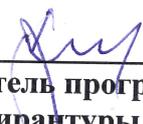


**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

  
Руководитель программы  
аспирантуры  
профессор А.Г. Протосеня

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВНОГО  
РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

**Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

<b>Область науки:</b>	2. Технические науки
<b>Группа научных специальностей:</b>	2.8. Недропользование и горные науки
<b>Научная специальность:</b>	2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика
<b>Отрасли науки:</b>	Технические
<b>Форма освоения программы аспирантуры:</b>	Очная
<b>Срок освоения программы аспирантуры:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	к.т.н., доц. В.Н. Ковалевский

Санкт-Петербург

Моделирование процессов взрывного разрушения горных пород. Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.И. Чернобай*. СПб, 2023. 14 с.

Методические указания предназначены для оказания помощи аспиранту при выполнении самостоятельной работы. Они включают задания для самостоятельной работы по дисциплине «Моделирование процессов взрывного разрушения горных пород», темы для изучения дисциплины с использованием различных источников, список рекомендуемой литературы, контрольные вопросы для самопроверки.

Методические указания предназначены для аспирантов научной специальности 2.8.6. «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Научный редактор, доцент кафедры взрывного дела  
*В.Н Ковалевский*

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Задания к самостоятельной работе .....	4
Рекомендации к написанию реферата .....	5
Примерный перечень тем для написания реферата: .....	6
Самостоятельное изучение дополнительных материалов.....	6
Тематики разделов дисциплины, рекомендуемые к изучению:.....	7
Рекомендуемая литература и источники в сети Интернет: .....	8
Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы: .....	10
Контрольные вопросы для самопроверки:.....	11

## **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение дисциплины «Моделирование процессов взрывного разрушения горных пород» предполагает формирование у аспирантов базовых знаний и современных представлений об особенностях физики разрушения горных пород в различных условиях при ведении взрывных работ, а также подготовку теоретической базы аспирантов для последующего изучения техники и технологий взрывных работ при разработке месторождений, физики взрыва, взрывных работ в строительстве, специальных взрывных технологий, методов ведения взрывных работ; а также научного стиля мышления, умения ориентироваться в потоке научной и технической информации и применять в будущей научно-исследовательской и проектно-производственной деятельности как физические, так и аналитические методы исследования. В процессе изучения дисциплины аспиранты самостоятельно выполняют ряд заданий, которые составляют основу практической подготовки. Самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекционных занятиях, а также выработку навыков самостоятельного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

В методических указаниях описываются действия, которые необходимо выполнить аспиранту в рамках самостоятельной работы, в том числе при подготовке к лекционным занятиям и с целью дальнейшей успешной сдачи дифференцированного зачета.

### **ЗАДАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ**

Самостоятельная работа – обязательная и неотъемлемая часть учебной работы аспиранта, направленная на:

- систематизацию, закрепление, углубление и расширение полученных теоретических знаний и практических умений;
- формирование умений использовать различные информационные источники: нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;

- развитие познавательных способностей, творческой инициативы, ответственности и организованности;
- развитие исследовательских умений.

Самостоятельная работа по дисциплине «Моделирование процессов взрывного разрушения горных пород» включает подготовку к лекционным занятиям, изучение дополнительных материалов, усвоение научно-исследовательских компетенций, а также подготовку к дифференцированному зачету.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ К НАПИСАНИЮ РЕФЕРАТА**

Написание реферата является неотъемлемой частью самостоятельной работы обучающихся. Основная цель написания реферата и его защиты – продемонстрировать навыки и умения по сбору нужной информации, по анализу прочитанных источников, а также способностей по формулированию важных выводов и их презентации. Важнейшим также является наработка способности рассмотреть научную проблему и сформулировать задачу для последующего решения.

Содержание реферата состоит из введения, теоретических основ (в том числе различных теорий, гипотез и, возможно, постулатов и выводов из трудов различных научных школ), справочной информации, анализа, выводов и заключения. Иногда реферат дополняется графической частью, например, схемами рассматриваемых установок, блок-схемами рассматриваемых алгоритмов или графическим представлением изучаемых объектов и закономерностей.

Реферирование научной информации в изучаемых источниках, зачастую, носит научно-исследовательскую цель: например, обобщить рассматриваемую подборку информации, выделить общее и найти отличия, скомпилировать собственное мнение по изучаемой проблематике и наметить дальнейшие задачи либо по усовершенствованию известных методов и технологий, либо с целью создания новых. Существенное внимание следует уделять анализу актуальности рассматриваемых проблем, особенно в свете их решения современными методами и технологиями; а также желательно указать на

производственные проблемы, которые так и не решены, либо решаются с определенными неблагоприятными компромиссами.

**Примерный перечень тем для написания реферата:**

1. Математическое моделирование процесса передачи энергии взрыва в породный массив.
2. Математическое моделирование механизма дробления горной породы вблизи взрывной скважины.
3. Математическое прогнозирование качества взрывоподготовки горной массы с учетом выбора конструкции заряда.
4. Математическое моделирование формирования и распространения сейсмических и воздушных ударных волн при взрыве скважинных зарядов.
5. Математическое прогнозирование гранулометрического состава горной массы с учетом вариаций параметров буровзрывных работ.
6. Теоретическая оценка формирования пылевидных фракций при взрывных работах.
7. Теоретическая оценка дальности разлета кусков горной породы при рыхлении взрывом скважинных зарядов на карьерах.
8. Теоретическая оценка параметров поля напряжений при взрыве системы зарядов ВВ.

**САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ  
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения и подходы к решению практических задач.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее основные понятия, новые незнакомые термины и названия, математические зависимости и их

выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и к глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к промежуточной аттестации.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач – один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

**Тематики разделов дисциплины, рекомендуемые к изучению:**

I. Методы моделирования разрушения горных пород при взрыве сосредоточенного и удлиненного зарядов

1. Закономерности механизма действия взрыва заряда ВВ на ГП
2. Дробление ГП в ближней зоне действия взрыва
3. Распределение напряжений и скоростей частиц ГП в бризантной зоне. Влияние трещиноватости
4. Квазистатическая стадия действия взрыва заряда ВВ на ГП
5. Формирование волновых процессов в ГП при взрыве заряда

II. Методы моделирования разрушения горных пород при одновременном взрыве системы удлиненных зарядов

1. Суперпозиция взрывных волн в ГП при одновременном взрыве нескольких удлиненных зарядов ВВ.
2. Процессы разрушения горных пород при одновременном взрывании нескольких промышленных зарядов ВВ
3. Механизмы трещинообразования и типы трещин
4. Динамика взрывного нагружения и энергонасыщение разрушаемого массива ГП
5. Предразрушение вблизи свободных поверхностей

III. Методы моделирования разрушения горных пород с учетом влияния их трещиноватости на эффективность разрушения

1. Откольные явления при взрыве удлиненного заряда ВВ и взаимосвязь с ЛНС
  2. Стадии распространения взрывных волн в различных зонах трещинообразования при взрыве удлиненного заряда ВВ
  3. Механизм взаимодействия кусков ГП в трещиноватом массиве при взрыве удлиненного заряда ВВ
  4. Локализация энергии взрыва вблизи сдетонированного удлиненного заряда ВВ в трещиноватом массиве ГП
  5. Предпосылки к закономерному формированию грансостава разрушенной горной массы
- IV. Методы моделирования процесса разрушения пород с учетом короткозамедленного взрывания удлиненных зарядов
1. Формирование поля напряжений при КЗВ удлиненных зарядов
  2. Влияние свободных поверхностей на процесс взрывного дробления ГП
  3. Механизмы и закономерности формирования грансостава разрушенной горной массы при КЗВ удлиненных зарядов
  4. Методы влияния на параметры грансостава
  5. Рекомендации по оптимизации взрывного дробления массива ГП

**Рекомендуемая литература и источники в сети Интернет:**

1. *Вознесенский А.С.* Моделирование физических процессов горного производства : учебное пособие / *А.С. Вознесенский*. — Москва : МИСИС, 2019. — 159 с. — ISBN 978-5-907061-46-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/128999> (дата обращения: 03.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Прикладная и промышленная математика / *Р.К. Халкечев, Л.К. Халкечева, Я.Н. Лозовская, О.М. Халкечев*. — Москва : Горная книга, 2013. — 44 с. — ISBN 0236-1493. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/49782> (дата обращения: 03.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. *Каркашадзе Г.Г.* Механическое разрушение горных пород. М., Горная книга, 2004. <https://e.lanbook.com/reader/book/3284/#3>

4. *Крюков Г.М.* Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании, М, Горная книга, 2006. <https://e.lanbook.com/reader/book/3285/#1>

5. *Каркашадзе Г.Г.* Моделирование физических процессов горного производства : учебное пособие / *Г.Г. Каркашадзе.* — Москва : МИСИС, [б. г.]. — Часть 2 — 2014. — 73 с. — ISBN 978-5-87623-828-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/116428> (дата обращения: 03.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. *Мешков А.А.* Физические основы взрывного разрушения горных пород : монография / *А.А. Мешков, П.И. Афанасьев.* — Москва : Горная книга, 2021. — 124 с. — ISBN 987-5-98672-543-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/248804> (дата обращения: 03.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. *Рахматулин Х.А.* Прочность и разрушение при кратковременных нагрузках [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ *Рахматулин Х.А.*— Электрон. текстовые данные.— М.: Логос, Университетская книга, 2008.— 619 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=9283>.— «БИБЛИОКОМПЛЕКТАТОР», по паролю

8. *Глушак Б.Л.* Начала физики взрыва [Электронный ресурс]: Учебное издание/ *Глушак Б.Л.*— Электрон. текстовые данные.— Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2011.— 308 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=60856>. — «БИБЛИОКОМПЛЕКТАТОР», по паролю

9. *Эквист Б.В.* Теория горения и взрыва : учебник / *Б.В. Эквист.* — Москва : МИСИС, 2018. — 180 с. — ISBN 978-5-906953-90-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/115286> (дата обращения: 03.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

10. *Макарьев В.П.* Статистические модели взрывного разрушения и методы исследования кусковатости. Л., ЛГИ, 1981.

11. *Нефедов М.А.* Направленное разрушение горных пород взрывом. СПб, СПГУ, 1992.

12. *Катунин Г.П.* Основы мультимедийных технологий : учебное пособие для вузов / *Г.П. Катунин*. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 784 с. — ISBN 978-5-8114-8575-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/177836> (дата обращения: 03.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

13. Механическое действие ядерного взрыва : учебное пособие / *В.Н. Архипов, В.А. Борисов, А.М. Борисов, В.В. Валько*. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 384 с. — ISBN 5-9221-0261-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/48219> (дата обращения: 03.02.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

14. *Ивлев Д.Д.* Предельное состояние деформируемых тел и горных пород / *Д.Д. Ивлев*. — Москва : Физматлит, 2008. — 829 с. — Режим доступа: по подписке. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68972> (дата обращения: 03.02.2023). — ISBN 978-5-9221-0914-7. — Текст : электронный.

**Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы:**

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>

КонсультантПлюс: справочно-поисковая система [Электронный ресурс]. - [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/)

2. Информационно-издательский центр по геологии и недропользованию Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации - ООО "ГЕОИНФОРММАРК": <http://www.geoinform.ru/>

3. Информационно-аналитический центр «Минерал»: <http://www.mineral.ru/>

4. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>

5. Научная электронная библиотека «Scopus»: <https://www.scopus.com>

6. Научная электронная библиотека ScienceDirect:  
<http://www.sciencedirect.com>
7. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»:  
<https://elibrary.ru/>
8. Портал «Гуманитарное образование»  
<http://www.humanities.edu.ru/>
9. Федеральный портал «Российское образование»  
<http://www.edu.ru/>
10. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
11. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.
12. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань»: <https://e.lanbook.com/books>
13. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): Электронная библиотека учебников:  
<http://studentam.net>
14. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ»:  
[www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).
15. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»»: <http://rucont.ru/>
16. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

Для подготовки к промежуточному контролю обучающийся должен сопоставить приобретенные знания, умения, навыки и опыт с указанными в рабочей программе дисциплины, проверить себя, ответив на контрольные вопросы и, в случае необходимости, еще раз изучить литературные источники и обратиться к преподавателю за консультацией.

#### **Контрольные вопросы для самопроверки:**

1. Что такое понятие «модель»? Какие существуют методы моделирования? Приведите примеры моделей математического моделирования.

2. Что является результатом содержательной постановки задачи? В чем заключается качественный анализ модели?
3. Какие цели преследует проверка адекватности модели?
4. Как записывается краевая задача в общем виде? Что называется начальной функцией? Что описывают граничные условия?
5. Какие уравнения называют компонентными, а какие топологическими?
6. Какие вам известны графические формы представления математических моделей?
7. В каких случаях прибегают к имитационному моделированию?
8. Как можно упростить модель с распределенными параметрами?
9. Что такое волны сжатия и какие трудности существуют при их математическом описании?
10. Объясните механизм образования и распространения упругих волн в среде?
11. Что такое синтезированный критерий эффективности взрыва ВВ и в каких моделях его уместно учитывать?
12. Зачем нужно изучать процессы в ближней зоне действия взрыва в горной породе?
13. Какие трудности возникают при математическом прогнозе деформаций и напряжений в горной породе во время прохождения взрывной волны?
14. Дайте определение кинематическому подобию. Какие ещё виды подобия используются при моделировании и в каких случаях?
15. В чем заключается суть основных постулатов теории разрушения Гриффитса и как они используются в моделировании взрыва?
16. В каких случаях используется метод эквивалентных материалов?
17. При каком условии обеспечивается механическое подобие Ньютона?
18. Как влияет линейный размер тела на критические напряжения в процессе взрывного разрушения?
19. Что собой представляет область концентрации напряжений при нагрузках у вершины трещины на разных стадиях действия взрыва?

20. Что собой представляет «Теория квазихрупкого разрушения» и при каких условиях её можно использовать при моделировании действия взрыва в горной породе?
21. Как определяется энергия диссипации при трещинообразовании, вызванным взрывным воздействием на объект исследования?
22. В чем заключается условие достижения критического числа микротрещин?
23. Укажите критерии хрупкого и вязкого разрушений. При каких условиях их можно учитывать при моделировании процесса взрывного разрушения горной породы?
24. Какие существуют модели ударной волны во взрывчатом веществе и в горной породе?
25. Какими постулатами уместно обосновывать прогнозирование значений деформации и напряжения во время прохождения взрывной волны в модельном образце?
26. Как определяется вероятность встречи активных и пассивных трещин?
27. Может ли происходить трещинообразование в виде цепной реакции типа горного удара? Если да, то в каких случаях?
28. Каким образом можно учесть время действия взрывной волны при прогнозировании величины скорости трещинообразования?
29. Как отличаются значения скорости трещинообразования поперек слоистости ГП и вдоль, например, в апатит-нефелиновых породах?
30. Назовите основные факторы действия взрыва, формирующие известные зоны трещинообразования.
31. Укажите зоны распространения ударной волны, волн сжатия и сейсмических волн в массиве ГП при взрыве заряда ВВ.
32. Что такое критическая скорость разрушения? Как она связана с удельной работой разрушения?
33. Как определяется пластичность ГП? Учитывается ли этот показатель при моделировании взрывного разрушения горной породы?
34. Что собой представляют зона дробления, зона нарушения, зона сотрясений, зона естественного состояния?
35. Как происходит распределение скорости продольных волн во взорванном массиве?

36. Как прогнозируют разрушающие напряжения в характерных зонах действия взрыва?
37. Укажите основные стадии действия взрыва. В какой момент нарушается связь волны купола с окружающим массивом?
38. Как прогнозируется величина импульса давления при взрыве заряда ВВ?
39. Как прогнозируется давление на фронте ударной волны?
40. Каким образом учитывается затухание волны с расстоянием от заряда ВВ не сферической формы?