

В.В. Нескоромных

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Учебное пособие

Институт горного дела, геологии и геотехнологий



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Сибирский федеральный университет

В.В. Нескоромных

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Рекомендовано УМО по образованию в области прикладной геологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 130203 «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых» направления подготовки 130200 «Технологии геологической разведки»
(решение УМС №01-04-УМО/26 от 01.04.08 г.)

Красноярск
СФУ
2012

УДК 622.243 (075.8)

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор кафедры горных машин ИрГТУ,
заслуженный работник высшей школы РФ Н.Н. Страбыкин;
ведущий специалист ФГУПП «Иркутскгеофизика»
А.В. Новобрицкий

Нескоромных В.В.

Н552 Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ: учеб. пособие / В.В. Нескоромных. – Красноярск : СФУ, 2012. – 298 с.

Рассмотрены основы механики сплошной среды, методы определения механических свойств горных пород, процессы при механическом вращательном, вращательно-ударном и ударно-вращательном способах бурения горных пород, параметры и свойства, определяющие буримость горных пород. Внимание уделено механизму разрушения горных пород при бурении различными типами породоразрушающих инструментов.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по направлению 130200 «Технологии геологической разведки», специальность 130203 «Технология и техника разведка месторождений полезных ископаемых» (ГОС ВПО - 2000) и по направлению подготовки (специальности) 130102.65 «Технология геологической разведки», специализация 130101.65.00.03 «Технология и техника разведки месторождений полезных ископаемых» (ФГОС ВПО – 2010) при изучении дисциплины профессионального цикла С.3 «Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ».

Книга будет полезна для аспирантов научных направлений 25.00.14 – «Технология и техника геологоразведочных работ», 25.00.15 – «Технология бурения и освоения скважин», научных сотрудников и специалистов производственных организаций, занятых решением технологических задач бурения скважин.

© Нескоромных В.В., 2008
© Сибирский федеральный
университет, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ» является базовой при изучении профилирующих дисциплин по специальности, а её изучение основывается на знании законов общей физики, физики твердого тела, теоретической механики, сопротивления материалов и математики.

Курс дисциплины включает информацию о:

- способах разрушения горных пород;
- свойствах горных пород, определяющих их прочность и буримость;
- механике разрушения горных пород;
- процессах разрушения горных пород различными породоразрушающими инструментами и методах интенсификации разрушения под воздействием различных технологических факторов;
- процессах удаления продуктов разрушения горных пород из скважины.

Процесс разрушения горных пород при бурении – разрушение горных пород на забое скважины или шпура вследствие механического или физико-химического воздействия на породу, производимого с целью формирования поля механических напряжений, достаточных для нарушения сплошности определенного объема (слоя) горного массива или преобразование породы в расплав, пар, раствор и удаление образовавшихся продуктов разрушения, растворения или плавления с забоя скважины на поверхность или в скважинное пространство.

Рациональное соотношение операций породоразрушающего воздействия на породу и удаления продуктов разрушения с забоя из-под торца бурового инструмента является важным аспектом, определяющим минимальную **энергоёмкость** и, соответственно, эффективность бурового процесса.

Энергоёмкость процесса разрушения горных пород на забое скважины – показатель эффективности процесса разрушения горных пород, определяемый как отношение затраченной на разрушение породы энергии к интервалу углубки (объёму разрушенной породы) за определенный отрезок времени.

В данном случае важно подчеркнуть, что процесс разрушения породы при бурении – два взаимосвязанных явления: собственно нарушение целостности породы породоразрушающим действием и удаление, по возможности мгновенное, полученных продуктов разрушения из зоны работы породоразрушающих элементов инструмента. Эти два взаимосвязанных явления объединены в понятие **буримость**.

Буримость – сопротивляемость горной породы разрушению буровым инструментом, задаваемая совокупностью прочностных и абразивных свойств горной породы, способом и интенсивностью породоразрушающего действия, конструктивными параметрами и техническим состоянием бурового инструмента, а также способом и параметрами процесса удаления

продуктов разрушения из зоны породоразрушающего действия бурового инструмента.

Количественно буримость можно оценить **механической скоростью бурения.**

В начале XXI века способы механического разрушения горных пород по-прежнему обеспечивают основной объем буровых и горнопроходческих работ, именно поэтому в учебном пособии основное внимание уделено механическому разрушению горных пород под воздействием поля механических напряжений.

Следует отметить, что резервы механических способов бурения в настоящее время далеко не исчерпаны. В связи с появлением новых сверхтвердых материалов, технологий их обработки, упрочнения металлов и сплавов, новых конструкций бурового инструмента, мощных и надежных забойных приводов, забойных машин ударного и ударно-вращательного действия, новых конструкций буровых станков непрерывно растет производительность бурения.

В то же время получают развитие и новые перспективные способы бурения, основывающиеся на физико-химических воздействиях на горную породу, например, бурение плавлением пород и лазером.

✓ **Бурение лазером** – бурение скважин лазером (англ. *laser*, составленное из первых букв выражения *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* – усиление света с помощью индуцированного излучения) – прибор, в котором осуществляется генерация монохроматических электромагнитных волн оптического диапазона вследствие индуцированного излучения (излучение электромагнитных волн частицами вещества – атомами, молекулами и др. под действием внешнего электромагнитного излучения).

Лазер используется для экспериментального бурения.

1997 г. В США, в *Gas Technology Institute* начат проект лазерного бурения. В проекте участвуют Арагонская национальная лаборатория Министерства Энергетики США и Горная школа Колорадо. Для экспериментов предоставлены два армейских лазера *MIRACL* и *COIL*. Оба лазера работают в инфракрасном диапазоне, потребляют мощность до 1 МВт. Параметры лазера: длина волны – 1,06 мкм, средняя мощность – 1,6 кВт, максимальная пиковая мощность – 32 кВт, длительность импульса – 0,1-10 мс, частота повторения 25-800 имп/с, максимальная энергия 100 Дж/имп.

Установлено, что режим работы лазера существенно влияет на разрушение породы – длинные импульсы с высокой частотой повторения приводят к плавлению породы, короткие импульсы с малой частотой к её растрескиванию.

2001 г. Министерство Энергетики США объявило о продолжении работ по бурению лазером. Предполагается, что энергия от лазера будет доставляться на забой с помощью пучка волоконно-оптических линий.

Считается, что скорость бурения может возрасти в 10-100 раз в сравнении с достигаемой механическим разрушением, что обещает мощный технологический прорыв в бурении.

Развитию этих перспективных способов способствуют совершенствование и модернизация буровых агрегатов, повышение их энерговооруженности, создание неразъемных бурильных колонн – колтюбинга.

✓ **Колтюбинг** – (англ. *coiled tubing* – катушка труба) – бурение скважин с использованием стальной длинномерной безмуфтовой гибкой трубы, навиваемой на катушку-барабан, взамен традиционной разъемной бурильной колонны.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ РАЗРУШЕНИЯ И СВОЙСТВАХ ГОРНЫХ ПОРОД.....	5
1.1. Способы разрушения горных пород.....	5
1.2. Общие сведения о горных породах.....	6
1.3. Механические свойства горных пород при простых видах деформации.....	13
1.4. Условия, определяющие состояние горных пород в процессе их разрушения при бурении.....	21
Контрольные вопросы к главе 1.....	25
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД.....	26
2.1. Основы механики разрушения твердых тел.....	26
2.1.1. Теоретическая прочность твердых тел.....	26
2.1.2. Теория разрушения твердых тел А.Гриффитса.....	28
2.1.3. Понижение прочности твердых тел физико-химическими методами.....	31
2.1.4. Теория эффективных растягивающих напряжений.....	34
2.2. Напряжения в горных породах под действием сосредоточенной силы.....	35
2.3. Основные параметры разрушения горных пород.....	38
2.4. Влияние формы внедряемого индентора на процесс деформирования и разрушения горной породы.....	40
2.4.1. Разрушение горной породы при вдавливании плоского цилиндрического индентора.....	41
2.4.2. Разрушение горной породы при вдавливании индентора сферической формы.....	45
2.4.3. Разрушение горной породы при вдавливании пирамидального и клиновидного инденторов.....	48
2.5. Влияние касательной нагрузки на напряженное состояние горной породы при осевом внедрении инденторов.....	51
2.6. Влияние скорости и интенсивности приложения нагрузки на процесс разрушения горных пород.....	53
2.7. Особенности разрушения инденторами анизотропных горных пород.....	61
2.8. Динамическое разрушение горных пород.....	64
2.8.1. Основные принципы и закономерности динамического разрушения горных пород.....	64
2.8.2. Механизм и энергоемкость разрушения горных пород при динамическом нагружении.....	65
2.8.3. Разрушение горной породы ударом при несимметричном нагружении индентора.....	71
Контрольные вопросы к главе 2	75

Глава 3. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ БУРИМОСТЬ.....	75
3.1. Твердость минералов и горных пород.....	76
3.1.1. Влияние внешней среды на твердость горных пород.....	82
3.1.2. Влияние диаметра индентора на твердость горных пород.....	83
3.1.3. Разрушение породы внедрением нескольких инденторов..	84
3.1.4. Твердость анизотропной горной породы.....	85
3.2. Изнашивание буровых инструментов и абразивность горных пород.....	88
3.2.1. Теоретические основы процесса изнашивания бурового инструмента.....	88
3.2.2. Влияние внешней среды на абразивное изнашивание инструмента.....	91
3.2.3. Направления и методы повышения износостойкости и создания высокоресурсного бурового инструмента	97
3.2.4. Методы изучения изнашивания инструмента при взаимодействии с горной породой	104
3.2.5. Методика определения динамической прочности, абразивности и категорий горных пород по буримости ...	106
3.2.6. Классификация горных пород по трещиноватости.....	110
3.3. Оценка буримости горных пород методом вызванной акустической эмиссии	111
Контрольные вопросы к главе 3.....	112
Глава 4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ БУРЕНИИ	113
4.1. Характеристика основных способов механического разрушения горных пород при бурении.....	113
4.2. Основные принципы механического разрушения горных пород при бурении.....	118
4.3. Формирование зоны предразрушения при механическом разрушении горных пород	127
4.4. Особенности формирования стволов скважин при бурении.....	131
4.5. Основы динамики работы бурового инструмента.....	136
4.6. Экономическая оценка эффективности разрушения горных пород при бурении	141
Контрольные вопросы к главе 4.....	145
Глава 5. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВРАЩАТЕЛЬ-НОМ СПОСОБЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИН.....	146
5.1. Разрушение горных пород буровым инструментом резцами из твердого сплава.....	146
5.1.1. Твердые сплавы и их свойства.....	146
5.1.2. Основные типы бурового инструмента вооруженного твердосплавными резцами.....	148

5.1.3.	Основы механизма разрушения горной породы инструментами режуще-скалывающего действия, вооруженных твердосплавными резцами.....	149
5.1.4.	Основы выбора параметров режима бурения твердосплавными коронками.....	158
5.2.	Разрушение горных пород буровым инструментом с резцами из композиционных алмазосодержащих и поликристаллических алмазов.....	160
5.2.1.	Буровые инструменты с резцами из композиционного сверхтвердого материала.....	160
5.2.2.	Буровые инструменты с резцами из твердых материалов с поликристаллическими алмазами.....	163
5.3.	Разрушение горных пород алмазным буровым инструментом.....	170
5.3.1.	Общие сведения об алмазном буровом инструменте.....	170
5.3.2.	Характер разрушения горных пород алмазными резцами..	174
5.3.3.	Механизм разрушения горной породы алмазными резцами бурового инструмента.....	178
5.3.4.	Динамические нагрузки на алмазы в процессе разрушения горных пород.....	194
5.3.5.	Влияние величины выпуска алмазов из матрицы на эффективность разрушения горных пород.....	201
5.3.6.	Влияние сил трения и температурный режим работы алмазного бурового инструмента.....	205
5.3.7.	Заполирование алмазов в буровых коронках	211
5.3.8.	Параметры режима алмазного бурения.....	216
5.3.9.	Разработки в области разрушения горных пород алмазным инструментом компаний <i>Atlas Copco</i> и <i>Boart Longyear</i>	222
5.4.	Разрушение горных пород шарошечными долотами.....	225
5.4.1.	Конструкции и вооружение шарошечных долот.....	225
5.4.2.	Основы механики разрушения горных пород шарошечными долотами.....	231
5.4.3.	Системы очистки забоя и интенсификация процесса разрушения при бурении шарошечными долотами.....	234
5.4.4.	Динамика работы шарошечных долот с учетом влияния бурильной колонны.....	238
5.4.5.	Параметры режима бурения шарошечными долотами.....	241
	Контрольные вопросы к главе 5.....	244
	Глава 6. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНО-УДАРНОМ, УДАРНО-ВРАЩАТЕЛЬНОМ И УДАРНОМ СПОСОБАХ БУРЕНИЯ.....	245
6.1.	Разрушение горных пород при вращательно-ударном способе бурения.....	245
6.1.1.	Разрушение горных пород алмазным инструментом в	

режиме вращательно-ударного бурения.....	246
6.1.2. Разрушение горных пород шарошечными долотами в режиме вращательно-ударного бурения.....	250
6.2. Разрушение горных пород при ударно-вращательном способе бурения.....	251
6.3. Разрушение горных пород при ударном способе бурения.....	258
Контрольные вопросы к главе 6.....	262
Глава 7. УСЛОВИЯ КЕРНООБРАЗОВАНИЯ И УДАЛЕНИЕ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ С ЗАБОЯ БУРИМОЙ СКВАЖИНЫ.....	262
7.1. Условия кернообразования при различных способах разрушения горных пород.....	262
7.2. Удаление продуктов разрушения с забоя буримой скважины.....	268
7.3. Особенности бурения скважин при использовании в качестве очистных агентов пен и воздуха.....	275
Контрольные вопросы к главе 7.....	278
Глава 8. РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВАНИЕМ.....	279
8.1. Понятие о взрыве.....	279
8.2. Механизм разрушения пород взрывом.....	282
Контрольные вопросы к главе 8.....	288
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	288
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	292