

И.В. Баклашов

ГЕОМЕХАНИКА

В двух томах

Том 1

ОСНОВЫ ГЕОМЕХАНИКИ

Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Горное дело» и по специальностям «Физические процессы горного или нефтегазового производства» и «Шахтное и подземное строительство» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело»

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА
2004



ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

УДК 622.02:531

ББК 33.1

Б 19

*Экспертиза проведена
Министерством образования и науки Российской Федерации
(приказ № 1564 от 08.04.2004)*

*Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям
книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253-03», утвержденным
Главным государственным санитарным врачом России
30 марта 2003 г.*

Рецензенты:

Кафедра «Горное дело и проведение горно-разведочных выработок»
Московского государственного геологоразведочного университета
(зав. кафедрой проф., д-р техн. наук Л.Г. Грабчак)

Ведущий научный сотрудник ИПКОН РАН,
д-р техн. наук В.Н. Одинцев

Баклашов И.В.

Б 19 Геомеханика: Учебник для вузов. В 2 т. — М.: Издательст-
во Московского государственного горного университета, 2004.
— Т. 1. Основы геомеханики. — 208 с.: ил.
ISBN 5-7418-0325-3 (в пер.)

В первом томе учебника изложены основы геомеханики: рассмотрены механические свойства горных пород и структурно-механические особенности породных массивов, приведены основные методы математического моделирования геомеханических процессов. При этом наиболее подробно описан внутренний механизм деформирования и разрушения горных пород и породных массивов, с единых методических позиций изложено построение геомеханических моделей, раскрывающих фундаментальные закономерности геомеханических процессов.

И.В. Баклашов — д-р техн. наук, проф. кафедры «Физика горных пород и процессов» Московского государственного горного университета.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Горное дело» и по специальностям «Физические процессы горного или нефтегазового производства» и «Шахтное и подземное строительство» направления подготовки дипломированных специалистов «Горное дело».

УДК 622.02:531

ББК 33.1

ISBN 5-7418-0327-X

ISBN 5-7418-0325-3 (Т. 1)

© И.В. Баклашов, 2004

© Издательство МГГУ, 2004

© Дизайн книги. Издательство
МГГУ, 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Реформа высшей школы в России и на Украине, предусматривающая перевод образования на многоуровневую подготовку и введение Государственных образовательных стандартов, требует обновления содержания и методических основ фундаментальных технических дисциплин, приведение их в соответствие с новой концепцией высшего образования.

В связи с этим заметно усиливается роль учебной литературы в образовательном процессе. Настоящий учебник написан по одноименной дисциплине, входящей в образовательную программу подготовки бакалавров, горных инженеров и магистров для специальностей направления «Горное дело». Геомеханика как наука и учебная дисциплина, по определению академика В.В. Ржевского, является *фундаментальной базой строительной, подземной и открытой горных технологий*.

Однако, несмотря на огромное количество научных публикаций, среди которых есть ряд серьезных обобщающих монографий, а также то, что дисциплина «Геомеханика» («Механика горных пород») преподается в вузах горного профиля более 70 лет, общевузовский учебник по ней так и не был создан. И это не случайно, так как систематизировать весь круг вопросов геомеханики крайне сложно, и прежде всего в методическом отношении. Вузы, как правило, ограничивались изданием конспектов лекций и отдельных учебных пособий, отражающих специфику прикладных задач различных сфер инженерной деятельности, — подземного строительства, маркшейдерии, добычи полезных ископаемых и т. п.

За истекшие годы теоретические и экспериментальные исследования в геомеханике вышли на качественно новый уровень. Последние пять лет характеризуются резким возрастанием статуса горных наук, в том числе и геомеханики, обеспечивающей горняков знаниями *о физико-механических свойствах горных пород, механических процессах в породных массивах и поведении горнотехнических объектов в поле сил горного давления*. В 1997 году она была включена в новую классификацию горных наук. Разумеется, все эти позитивные изменения и практический опыт использования знаний геомеханики в решении инженерных задач горного производства рано или поздно должны были найти свое логическое отражение в учебной литературе, и в этом смысле появление нового учебника представляется своевременным.

Целью изучения дисциплины является *приобретение студентами знаний и умений, необходимых для самостоятельного творческого решения задач по оценке механического состояния мас-*

сиров горных пород и горнотехнических объектов при освоении георесурсов недр. Ее изучение происходит путем прослушивания курса лекций, выполнением лабораторных и практических работ с последующим закреплением полученных знаний при курсовом проектировании и прохождении производственной практики.

В результате студент должен **знать** *общие закономерности деформирования и разрушения породного массива, формирования его напряженно-деформированного состояния при ведении горных работ, основные методы определения механических свойств пород, оценки механического состояния породного массива и управления этим состоянием.*

Студент **должен уметь**, пользуясь нормативными документами или применяя специальные методы, *оценивать напряженно-деформированное состояние пород, вмещающих горнотехнические объекты, прогнозировать устойчивость горных выработок, научно обосновывать методы и способы управления горным давлением. Он должен владеть профессиональной терминологией, основными нормативными документами, метрологическими правилами и стандартами.*

При написании учебника авторы использовали многолетний опыт преподавания указанной дисциплины в Московском государственном горном университете, Национальной горной академии Украины и в других ведущих высших учебных заведениях горного профиля России и Украины.

Учебник состоит из трех крупных взаимосвязанных разделов. *Первый раздел* посвящен фундаментальным положениям геомеханики и изложен в 1-м томе. *Второй раздел* (основы учения о механических процессах в породных массивах и методы их изучения) и *третий* (прикладные задачи геомеханики) представлены во 2-м томе.

В целом, по мнению авторов, первый *межвузовский учебник по геомеханике* в достаточной мере удовлетворяет требованиям Государственных образовательных стандартов России и Украины.

Авторский коллектив выражает глубокую благодарность ректору Московского государственного горного университета Л.А. Пучкову и ректору Национальной горной академии Украины Г.Г. Пивняку, по инициативе и при активной поддержке которых издание данного учебника стало объективной реальностью.

Авторы с благодарностью примут все конструктивные замечания и предложения читателей.

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 5 |
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| <i>Глава 1</i> | |
| МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД И ГРУНТОВ | 11 |
| 1.1. Общие сведения о механизме деформирования и разрушения горных пород | 13 |
| 1.1.1. Особенности минерального строения | 13 |
| 1.1.2. Общие сведения о классификации горных пород | 14 |
| 1.1.3. Внутреннее поле напряжений | 16 |
| 1.1.4. Полные диаграммы деформирования | 17 |
| 1.2. Деформационные и прочностные свойства горных пород | 24 |
| 1.2.1. Свойства горной породы и образца горной породы | 24 |
| 1.2.2. Модуль упругости | 26 |
| 1.2.3. Модули деформации при одноосном сжатии и растяже- нии | 27 |
| 1.2.4. Модуль деформации на запредельной стадии деформи- рования | 30 |
| 1.2.5. Склонность горных пород к хрупкому разрушению | 32 |
| 1.2.6. Коэффициент Пуассона и коэффициент поперечной де- формации | 34 |
| 1.2.7. Объемная деформация и явление дилатансии | 35 |
| 1.2.8. Предел прочности на одноосное сжатие и растяжение | 35 |
| 1.2.9. Внутренний механизм разрушения горных пород | 37 |
| 1.2.10. Концевые и масштабные эффекты при испытании породных образцов | 41 |
| 1.2.11. Остаточная прочность | 47 |
| 1.2.12. Влияние температуры, воды и газа | 48 |
| 1.3. Реологические свойства горных пород | 51 |
| 1.3.1. Явления ползучести и релаксации напряжений | 51 |
| 1.3.2. Статический и динамический модули деформации | 55 |
| 1.3.3. Длительная прочность | 56 |
| 1.3.4. Особенности длительного деформирования за преде- лом прочности | 58 |
| 1.4. Деформирование и разрушение горных пород при объемном нагружении | 59 |
| 1.4.1. Особенности объемного нагружения горных пород в массиве и соответствующие способы испытаний | 59 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.2. Полные диаграммы деформирования при объемном нагружении | 63 |
| 1.4.3. Общие сведения о теориях прочности горных пород | 64 |
| 1.4.4. Паспорт прочности горных пород | 71 |
| 1.5. Механические свойства грунтов | 74 |
| 1.5.1. Составные части и общая классификация грунтов | 74 |
| 1.5.2. Основные характеристики механических свойств грунтов | 76 |
| 1.5.3. Водонасыщенные грунты и плывуны | 79 |
| 1.5.4. Вечномерзлые и искусственно замороженные грунты | 80 |

Глава 2

МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД И ЕГО СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ... 83

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1. Природные и техногенные структурно-механические особенности массива горных пород | 85 |
| 2.1.1. Общая классификация структурных элементов массива | 85 |
| 2.1.2. Трещиноватость и ее количественные характеристики | 86 |
| 2.1.3. Блочность | 88 |
| 2.1.4. Слоистость | 89 |
| 2.1.5. Неоднородность и анизотропия, естественная и искусственная | 90 |
| 2.2. Деформируемость и прочность породных массивов | 93 |
| 2.2.1. Масштабный эффект в породном массиве | 93 |
| 2.2.2. Механические свойства породного массива и образца породного массива | 95 |
| 2.2.3. Деформируемость трещиноватых массивов | 96 |
| 2.2.4. Деформируемость массивов, подверженных технологическому воздействию | 104 |
| 2.2.5. Прочность массивов по структурным ослаблениям, прочностная анизотропия | 107 |
| 2.2.6. Коэффициент структурного ослабления массива | 111 |
| 2.2.7. Прочность массивов, подверженных технологическому воздействию | 114 |
| 2.3. Особенности механического состояния грунтовых массивов | 115 |
| 2.3.1. Масштабный эффект в грунтовом массиве | 115 |
| 2.3.2. Деформируемость и прочность грунтовых массивов | 115 |
| 2.3.3. Влияние воды | 116 |
| 2.4. Начальное напряженное состояние породных и грунтовых массивов | 117 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.1. Факторы, определяющие начальное напряженное состояние | 117 |
| 2.4.2. Гравитационная составляющая нормальных напряжений по горизонтальным площадкам | 120 |
| 2.4.3. Коэффициент бокового распора в породных массивах различного строения | 122 |
| 2.4.4. Тектоническая составляющая начальных напряжений | 124 |
| 2.4.5. Особенности начального напряженного состояния грунтовых массивов | 126 |

Глава 3

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ | 127 |
| 3.1. Общие сведения о геомеханических процессах и физических методах их моделирования | 129 |
| 3.1.1. Общие сведения о геомеханических процессах | 129 |
| 3.1.2. Общие сведения о физических методах моделирования | 131 |
| 3.2. Математическое моделирование геомеханических процессов | 132 |
| 3.2.1. Общие сведения о методах математического моделирования | 132 |
| 3.2.2. Методы механики деформируемого твердого тела | 133 |
| 3.2.3. Деформированное состояние | 134 |
| 3.2.4. Напряженное состояние | 150 |
| 3.2.5. Физические уравнения и геомеханические модели | 167 |
| 3.2.6. Аналитические методы моделирования | 182 |
| 3.3. Особенности постановки и решения геомеханических задач | 191 |
| 3.3.1. Постановка задачи | 191 |
| 3.3.2. Расчетная схема | 194 |
| 3.3.3. Выбор метода решения | 201 |
| СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ | 203 |
| АЛФАВИТНО-ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ | 204 |