

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.: Издательство
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 горно-технических 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-*

сивов горных пород и горнотехнических объектов при освоении георесурсов недр. Ее изучение происходит путем прослушивания курса лекций, выполнения 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.

ОГЛАВЛЕНИЕ

А

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

А

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 пльвуны	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