

ВЫСШЕЕ ГОРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

А.М. ГАЛЬПЕРИН

ГЕОМЕХАНИКА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Допущено Министерством образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Горное дело»

МОСКВА

**ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

2 0 0 3



УДК 622.015
ББК 33.22
Г 15

Рецензенты:

- кафедра Геодезии, маркшейдерского дела и геомеханики Московского государственного геологоразведочного университета (проф., д-р техн. наук *В.И. Борщ-Компоницеу*);
- проф., д-р техн. наук *М.Е. Певзнер* (Государственный институт горно-химического сырья)

Гальперин А.М.

Г 15 Геомеханика открытых горных работ: Учебник для вузов. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. — 473 с.

ISBN 5-7418-0228-1 (в пер.)

Рассмотрены природно-геологические и технологические факторы, определяющие состояние бортовых и отвальных массивов. Приведен анализ процессов нарушения устойчивости бортов карьеров, отвальных насыпей, дамб гидроотвалов и хвостохранилищ. Изложены теоретические основы прогноза геомеханических процессов в бортовых и отвальных массивах, инженерные методы расчета устойчивости карьерных откосов, описаны технологические и специальные мероприятия по направленному изменению состояния массива. Освещены вопросы геомеханического обоснования технологии формирования и рекультивации отвальных насыпей и намывных горно-технических сооружений с учетом требований обеспечения промышленной и экологической безопасности. Дана характеристика методов и средств геомеханического контроля на карьерах.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Горное дело».

УДК 622.015
ББК 33.22

ISBN 5-7418-0228-1

© А.М. Гальперин, 2003
© Издательство МГГУ, 2003
© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2003



А

Анатолий Моисеевич Гальперин родился в г. Москве 25 июля 1937 г.

В 1959 г. закончил Московский горный институт по специальности «Открытые горные работы», после чего началась его практическая деятельность на Щигровском фосфоритовом руднике, а позже — в проектной конторе Союзшахтоосушение».

Тема кандидатской диссертации, которую он защитил в 1965 г., — «Оценка устойчивости

карьерных отвалов в условиях нестабилизированного состояния породных масс». Спустя три года Анатолий Моисеевич становится доцентом кафедры геологии Московского горного института; в 1980 г. защищает докторскую диссертацию на тему «Геомеханические основы технологии формирования во времени бортов карьеров и отвальных массивов». С 1983 г. А.М. Гальперин — профессор, с 1989 г. — заведующий кафедрой геологии Московского государственного горного университета, с 1996 г. — академик РАЕН. В 1998 г. ему присвоено звание заслуженного деятеля науки Российской Федерации.

Научная и педагогическая деятельность А.М. Гальперина связана с проблемами геологического обеспечения, геомеханики и технологии открытых горных работ, включающими в себя такие вопросы, как создание теории и методов инженерно-геологических исследований при освоении месторождений полезных ископаемых, методики прогнозирования гидромеханических процессов, комплексного геологического изучения техногенных массивов отвалов и хвостохранилищ, разработку природоохранных технологий. За создание научных основ высокоэффективной и экологически безопасной технологии формирования гидроотвалов на горных предприятиях в 1989 г. А.М. Гальперин был награжден Премией Совета Министров СССР. В 2000 г. он — лауреат конкурса «Соросовские профессора».

Результаты научных исследований А.М. Гальперина реализованы на многих горно-добывающих предприятиях и объектах гидротехнического строительства. А.М. Гальпериным подготовлены 20 кандидатов и пять докторов наук. А.М. Гальперин — автор более 160 опубликованных трудов, в том числе 14 монографий и учебников. Он является председателем Комиссии по горно-промышленной геологии геологоразведочного отделения РАЕН, членом редколлегии журналов «Геоэкология» и «Геология и разведка», Международной ассоциации инженеров-геологов (IAEG), Международной комиссии по высоким плотинам (ICOLD).

В XX в. промышленно-технологическая революция привела к глобальному вмешательству человека в наиболее консервативную часть окружающей среды — литосферу. Геологическая деятельность человека стала сопоставимой с природными геологическими процессами. Это дало основание В.И. Вернадскому еще в 1925 г. заявить, что человек своей научной мыслью создает «новую геологическую силу». Подтверждением этому служит тот факт, что в настоящее время при строительстве и добыче полезных ископаемых человек перемещает в год более 100 млрд т горных пород, что примерно в 4 раза больше массы материала, переносимого всеми реками мира.

Несомненно, полезные ископаемые — главная часть природного богатства недр. В России выявлены в промышленных масштабах все виды минерального сырья, используемого в мировой практике. Разработка большинства из них в ближайшей перспективе будет осуществляться открытым способом.

Высокий удельный вес открытого способа разработки месторождений России свидетельствует о сохранении этого генерального направления развития горнодобывающих отраслей промышленности для обеспечения топливом и минеральным сырьем потребностей энергетики, черной и цветной металлургии, химической индустрии, строительства, машиностроения, вычислительной техники, коммунально-бытового и сельского хозяйства. При этом воздействие на окружающую сре-

А
ду современных карьеров и техногенных массивов приобретает региональный характер, учитывая объемы водопонижительных работ, перемещаемых и вовлекаемых в деформацию породных масс, земель, нарушаемых объектами горного производства.

Закономерное увеличение глубины и объемов открытых горных работ и, как правило, усложнение геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий разработки определяют качественно новый подход к обеспечению устойчивости бортов глубоких карьеров и высоких отвалов. Эффективность открытой разработки связана с решением таких проблем, как охрана водно-земельных ресурсов, увеличение полноты извлечения запасов полезных ископаемых из недр, сокращение затрат на вскрышные и отвальные работы, ускоренное восстановление нарушенных территорий.

Горная геомеханика — научная дисциплина, изучающая механические процессы, развивающиеся в толщах горных пород (массивах) при производстве горных работ.

Геомеханика открытых горных работ рассматривает вопросы устойчивости карьерных откосов, оценки несущей способности естественных и искусственных оснований, прогноза деформаций сдвига и уплотнения бортовых и отвальных массивов, направленного изменения и контроля состояния массивов пород в бортах карьеров, а также техногенных насыпных и намывных массивов отвалов, гидроотвалов и хвостохранилищ.

Знание закономерностей развития геомеханических процессов в массивах горных пород позволяет регламентировать мероприятия по направленному изменению их состояния и, соответственно, обеспечить экономическую эффективность горных работ, а также промышленную и экологическую безопасность.

А

В учебнике дается подробная характеристика природно-геологических и горно-технических факторов, определяющих состояние пород в бортах карьеров и отвалах, рассматриваются теоретические основы прогноза развивающихся в бортовых и отвальных массивах механических процессов, приводятся теоретические основы и инженерные методы расчета устойчивости карьерных откосов, описываются технологические и специальные мероприятия по направленному изменению состояния массива, а также методы и средства геомеханического контроля на карьере.

Особо следует отметить включенный в книгу материал по геомеханическому обоснованию технологии формирования и последующего использования отвальных насыпей, гидроотвалов и хвостохранилищ. Эти горно-технические сооружения — объекты повышенной экологической опасности, учитывая возможность загрязнения воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенного покрова на обширных территориях.

Разработанные в МГГУ под руководством автора этого учебника оригинальные решения по форсированию консолидации техногенных отложений выполнены на уровне изобретений и патентов. Их использование на намывных объектах КМА и Кузбасса обеспечило ускорение водооборота, повышение вместимости отвалов, уменьшение сроков восстановления нарушенных территорий.

Большой практический интерес представляют собой разработки МГГУ по гидрогеомеханическому контролю ограждающих дамб и внутренних зон гидроотвалов и хвостохранилищ, а также использование получаемых с его помощью данных при инженерно-геологическом районировании намывных территорий.

Автор учебника — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой геологии Московского государственного горного университета А.М. Гальперин является известным специалистом в области инженер-

ной геологии, геомеханики и технологии открытых горных работ.

Предлагаемый учебник «Геомеханика открытых горных работ», в котором гармонично сочетаются многолетний научно-педагогический опыт автора и достижения мировой науки в области открытой разработки, безусловно полезное, а с учетом явного недостатка учебной литературы по геомеханике карьеров, необходимое издание.

В.Г. Зотеев

*Доктор технических наук, профессор,
лауреат Государственной премии СССР*

Вступительная статья	8
Предисловие	12
Условные обозначения	22
ГЛАВА I. Общая характеристика геомеханических процессов на карьерах	25
I.1. Факторы, определяющие состояние массива на карьерах	27
§ 1. Предварительные сведения	27
§ 2. Физико-географические и природно-геологические факторы	29
§ 3. Гидрогеологические и инженерно-геологические факторы	36
§ 4. Напряженное состояние массива горных пород	47
§ 5. Влияние технологии горных работ на состояние бортов карьеров и отвалов	58
I.2. Нарушения устойчивости горно-технических сооружений на карьерах	67
§ 6. Горно-геологические явления	67
§ 7. Нарушения устойчивости бортов карьеров	71
§ 8. Нарушения устойчивости отвальных насыпей	80
§ 9. Нарушения устойчивости дамб намывных горно-технических соору- жений	89
ГЛАВА II. Геомеханические процессы в бортовых и отвальных массивах	101
§ 1. Обоснование применения одномерных задач для прогноза уплотнения породных массивов	103
§ 2. Уплотнение породных толщ вследствие глубокого водопонижения ...	107
§ 3. Уплотнение техногенных (намывных и насыпных) массивов	118
§ 4. Сдвиговая ползучесть и длительная прочность	137
ГЛАВА III. Общие вопросы оценки устойчивости карьерных откосов	149
§ 1. Основные условия устойчивости откосов	151
§ 2. Методы предельного напряженного состояния массива горных пород	156
§ 3. Инженерные методы расчета устойчивости откосов	168
ГЛАВА IV. Расчет устойчивости карьерных откосов в различных геоло- гических условиях	187
§ 1. Типовые схемы расчета устойчивости откосов	189
§ 2. Расчет устойчивости обводненных откосов	203
§ 3. Расчет устойчивости отвалов	209
§ 4. Расчет устойчивости уступов глинистых пород с учетом внешних на- грузок	217
§ 5. Определение несущей способности естественных и искусственных оснований	224
§ 6. Расчет устойчивости откосов, сложенных скальными породами	230
§ 7. Расчет устойчивости откосов с учетом криволинейности бортов карье- ров в плане	243

ГЛАВА V. Горно-технологические решения по формированию бортовых карьеров и отвальных насыпей	249
§ 1. Общие сведения	251
§ 2. Технологические мероприятия по управлению состоянием бортовых массивов	254
§ 3. Механические способы укрепления бортового массива	260
§ 4. Физико-химические способы упрочнения пород бортового массива	271
§ 5. Использование изолирующих и защитных покрытий	283
§ 6. Способы комбинированного укрепления пород откосов	285
§ 7. Использование оползней и обрушений при вскрышных работах	288
§ 8. Технологические и специальные мероприятия по изменению состояния отвальных массивов	298
§ 9. Управление состоянием обводненных массивов при осушении	314
§ 10. Последующее использование отработанных карьеров и отвальных насыпей	334
ГЛАВА VI. Геомеханическое обоснование технологии формирования намывных массивов и их последующего использования	361
§ 1. Предварительные сведения	363
§ 2. Обоснование конструкции откосных сооружений гидроотвалов и хвостохранилищ	374
§ 3. Обоснование мероприятий по управлению состоянием внутренних зон намывных сооружений	382
§ 4. Геомеханическое обеспечение консервации, рекультивации и ликвидации намывных сооружений	398
ГЛАВА VII. Геомеханический контроль на карьерах	413
§ 1. Принципы контроля	415
§ 2. Геомеханический контроль бортовых массивов	418
§ 3. Геомеханический контроль отвальных (насыпных и намывных) массивов	433
Список литературы	451
Терминологический словарь	459
Предметный указатель	464