ŋqdqyeY bɆ deqɆbYэe d ɛɔɑbɔɏ Ɉqdqʎqɏè

А.Б. Макаров

ПРАКТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕХАНИКА

Пособие для горных инженеров

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ГОРНАЯ КНИГА»
2006

ŋqdqyeY bɆ deqɆbYэe d ɛɔɑbɔɏ Ɉqdqʎqɏè

ŋqdqyəY bƎ dədƎbYɜə d ɕɑqbɔɏ Jqqqyqɏè

УДК 622.83
ББК 33.1
М 15

KAZAKHMYS
Corporation

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

Макаров А.Б.
М 15 Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров. — М.: Издательство «Горная книга», 2006. — 391 с.: ил.
ISBN 5-98672-038-5 (пер.)

Обычно книги по геомеханике содержат большое количество математических выражений, формул, уравнений. Это необходимо для того, чтобы проникнуть в суть природных явлений, с которыми сталкиваются шахтеры. Но зачастую формул оказывается так много, что из-за них от горняков ускользает смысл процессов. Поэтому появился большой разрыв между современными достижениями геомеханики и уровнем понимания природы горного давления инженерами, которые руководят горными работами. Данное пособие основано на практическом опыте работы рудников, в первую очередь корпорации «Казахмыс». Оно предназначено для того, чтобы сократить разрыв между теорией и практикой, поэтому в нем почти нет формул. Суть геомеханических процессов и явлений при подземной добыче руды объясняется доступными словами, простыми схемами, наглядными иллюстрациями, типичными примерами из практики. Автор надеется, что из понимания природы геомеханических явлений и процессов появится умение управлять горным давлением.

Пособие предназначено для горных инженеров подземных рудников, будет полезно студентам горных вузов.

Makarov A.B.
Practical rock mechanics. Manual for mining engineers. — M.: Publishing House «Gornaya kniga», 2006. — 391 p.: il.

Books on Rock Mechanics content usually many mathematical expressions, formulas and equations. They are necessary to get to the root of the natural phenomena and problems which mining engineers usually to face. But in fact there are so many formulas, that the essence of the meaning escapes the miner's notice. Thus a large gap between the modern achievements of geomechanics and the understanding of rock pressure nature by mining engineers who conduct the mining work. This manual is based on practical experience of the underground mines of «Kazakhmys» corporation and is intended to reduce the gap between theory and practice. Therefore there are scarcely no formulas in it. Essence of geomechanical phenomena is explained with simple words, via easy of access schemes, through visual aids and practical examples. The author hope that from understanding of nature of geomechanical processes and phenomena skill strata control will come into being.

Manual is intended for mining engineers of underground mines and will be useful for students of mining university.

УДК 622.83
ББК 33.1

ISBN 5-98672-038-5

© А.Б. Макаров, 2006
© Издательство «Горная книга», 2006
© Дизайн книги. Издательство «Горная книга», 2006

ŋqdqyəY bƎ dədƎbYɜə d ɕɑqbɔɏ Jqqqyqɏè

ŋqdqɏeɎ bɆ dədɆbɎзə d ɛɔɑbɔɏ Ɉqddɏqɏè

Макаров Александр Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой маркшейдерского дела Российского государственного геологоразведочного университета, специалист в области геомеханики подземной и комбинированной разработки рудных месторождений, главный геомеханик-консультант корпорации «Казахмыс» (Казахстан), член редколлегии «Горного журнала», почетный член Союза маркшейдеров России.

А.Б. Макаров, ученик профессора В.И. Борщ-Компонийца, по результатам проведенных на рудниках Жезказгана исследований в 1982 г. защитил кандидатскую, а в 1992 г. — докторскую диссертацию по проблеме управления сдвижением и горным давлением при подземной и комбинированной повторной разработке Жезказганского месторождения.

Научная и производственная деятельность А.Б. Макарова в качестве главного геомеханика-консультанта связана с корпорацией «Казахмыс», объединившей вокруг ЖГМК все горно-металлургические комбинаты медной подотрасли Казахстана. В Жезказгане он принимает активное участие в геомеханическом обосновании технологии извлечения междукамерных целиков, теоретически доказывает позитивную роль процессов погашения выработанного пространства посредством обрушения в нормализации геомеханической обстановки. Разрабатывает методики расчета горного давления при разрушении и извлечении целиков. На Иртышском руднике обосновывает новые горные меры охраны стволов шахт при отработке предохранительных целиков. На Жезкентском ГОКе ведет работы по прогнозу и предотвращению горных ударов, обоснованию рациональных способов поддержания горных выработок на глубоких горизонтах.

Научную и производственную деятельность Александр Борисович совмещает с преподаванием курса геомеханики в РГГРУ (ранее МГРИ-МГГА-МГГРУ). Им подготовлены 12 кандидатов и 2 доктора технических наук, опубликовано более 100 научных трудов.

ŋqdqɏeɎ bɆ dədɆbɎзə d ɛɔɑbɔɏ Ɉqddɏqɏè

ŋqdqɐeʏ bƎ dəqƎbʏɜə d ɛɔɑbɔʏ ɟqdqʏqɐè

ПРЕДИСЛОВИЕ

Горное давление — опасный противник горняков, неожиданный, коварный. Оно стережет земные недра и спрашивает за них с людей высокую плату. Невидимое во время затишья, оно грозно напоминает о себе, становясь стихией, когда нарушаются законы равновесия и движения недр, данные природой.

Гете сказал: «Люди гибнут за металл». Для горняков это не метафора, а реальность.

Горный инженер обязан обеспечить безопасность работающих с ним людей. Для этого в его руках масса возможностей. Во власти горняка выбор системы разработки, назначение ее параметров, определение направлений и порядка ведения горных работ, типов применяемого оборудования, параметров взрывных работ, крепи. Много всего. Но все эти технологические решения будут оправданы только в одном случае — когда они согласованы с законами проявлений горного давления, когда используемые способы и методы управления горным давлением соответствуют природным условиям.

Научить горняков не лезть напролом, не перечить природе, а согласовывать свои действия с ее законами — вот смысл науки об управлении горным давлением — геомеханики.

Горные инженеры-геомеханики изучают свойства земных недр, силы, действующие в массиве горных пород. Натурные исследования форм и закономерностей проявлений горного давления в шахтах и рудниках осмысливаются в лаборатории методами теоретического и статистического анализа, математического моделирования. Синтез теории, практического опыта, натурных исследований и моделирования позволяет находить оптимальные технологические решения, согласованные с законами природы.

ŋqdqɐeʏ bƎ dəqƎbʏɜə d ɛɔɑbɔʏ ɟqdqʏqɐè

ŋ qdqɐǝ⅄ bƎ dǝdƎb⅄зǝ d ɐɔɑbɔ⅄ Ɉqdd⅄qɐè

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 7

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ГОРНОМ ДАВЛЕНИИ 9

Глава 2

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА МАССИВА И ЕГО МОДЕЛЬ 23

Глава 3

ПРИРОДНОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАССИВА ПОРОД 39

3.1. Зачем нужно знать природное напряженное состояние? 41

3.2. Что нужно знать о природном напряженном состоянии? 42

3.3. Гравитационные напряжения в массиве 45

3.4. Горизонтальные тектонические напряжения в массиве 53

3.5. Природное напряженное состояние массива Жезказганского месторождения 58

3.6. Виды природного напряженного состояния на других рудниках 60

Глава 4

ПРОЯВЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТОК 63

4.1. Напряженное состояние и смещения массива вокруг выработок 65

4.2. Формы разрушения выработок 71

4.3. Оценка природного напряженного состояния массива по характеру разрушения подготовительных выработок 79

ŋ qdqɐǝ⅄ bƎ dǝdƎb⅄зǝ d ɐɔɑbɔ⅄ Ɉqdd⅄qɐè

ŋqdqʎɐY bƎ dəqƎbʎɜə d ƨɑɑbɔʎ Ɉqdqʎqʎè

4.4. Проявления горного давления в вертикальных выработках . . . 83
4.5. Основные принципы обеспечения устойчивости выработок . . . 87
4.6. Устойчивость выработок, проводимых в разных направлениях . . . 93
4.7. Устойчивость штреков во флексурных зонах . . . 97

Глава 5

КРЕПЛЕНИЕ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК . . . 101
5.1. Основные типы крепи . . . 103
5.2. Набрызгбетонная и торкретбетонная крепь . . . 103
5.3. Анкерная крепь . . . 109
5.4. Комбинированная крепь . . . 117
5.5. Металлическая рамная крепь . . . 120
5.6. Монолитная железобетонная крепь . . . 123
5.7. Выбор типа крепи . . . 124
5.8. Зарубежный опыт оценки устойчивости выработок и выбора типа крепи . . . 127
5.9. Расчет параметров рамной крепи . . . 135
5.10. Ремонт рамной крепи . . . 143

Глава 6

ГОРНЫЕ УДАРЫ . . . 151
6.1. Основные понятия и определения . . . 153
6.2. Условия возникновения удароопасных ситуаций . . . 157
6.3. Прогноз удароопасности участков массива горных пород . . . 159
6.4. Мероприятия по снижению удароопасности выработок . . . 165
6.5. Закономерности проявлений горного давления на различных стадиях горных работ при разработке Жезказганского месторождения . . . 168
6.6. Динамические проявления горного давления при разработке наклонных залежей Орловского месторождения с закладкой . . . 172

ŋqdqʎɐY bƎ dəqƎbʎɜə d ƨɑɑbɔʎ Ɉqdqʎqʎè

ŋqdqyeY bƎ dedƎbYзe d єaqbєy Jqddyqyè

6.7. *Динамические проявления горного давления при разработке крутопадающих залежей Иртышского месторождения системами с магазинированием* 187

6.8. *Оценка удароопасности Юбилейно-Снегирихинского месторождения* 193

Глава 7
УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ ЗАЛЕЖЕЙ КАМЕРНО-СТОЛБОВОЙ СИСТЕМОЙ 197

7.1. *Принцип управления горным давлением* 199

7.2. *Пролеты кровли очистных камер* 201

7.3. *Локальная неустойчивость кровли камер и ее крепление* 205

7.4. *Сетка расположения целиков* 211

7.5. *Геомеханические процессы при камерно-столбовой системе разработки* 212

7.6. *Принципы определения нагрузки на целики* 216

7.7. *Коэффициент нагрузки на целики* 220

7.8. *Управление горным давлением барьерными целиками* 225

7.9. *Перераспределение горного давления при почвоуступной отработке мощных залежей* 227

7.10. *Проявления горного давления при отработке сближенных залежей* 231

7.11. *Напряженное состояние и прочность целиков* 234

7.12. *Разрушения МКЦ* 239

7.13. *Особенности нагружения и разрушения МКЦ на наклонных залежах* 246

Глава 8
УПРАВЛЕНИЕ ГОРНЫМ ДАВЛЕНИЕМ ПРИ ПОВТОРНОЙ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ЗАЛЕЖЕЙ 253

8.1. *Геомеханический смысл повторной разработки* 255

ŋqdqyeY bƎ dedƎbYзe d єaqbєy Jqddyqyè

ŋqdqʎeʎ bƎ dedƎbʎɜe d ɕɑɑbɔʎɐ Ɉqddʎqʎè

8.2. Технология извлечения МКЦ из открытого выработанного пространства 259

8.3. Нагрузки на МКЦ при повторной разработке пологих залежей 263

8.4. Нагрузки на МКЦ при повторной разработке наклонных залежей 268

8.5. Оценка устойчивости целиков при повторной разработке 271

8.6. Управление процессом обрушения налегающей толщи 281

8.7. Камерно-столбовая система разработки с обрушением 284

8.9. Мероприятия по обеспечению безопасности отработки барьерных целиков 291

Глава 9

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД 295

9.1. Геомеханические процессы при повторной разработке пологих залежей с обрушением 295

9.2. Условия выхода обрушений на поверхность и образования провалов 300

9.3. Воздушный удар при внезапном обрушении налегающей толщи 307

9.4. Сдвижение земной поверхности и меры охраны подрабатываемых объектов 312

9.5. Прогноз максимального оседания земной поверхности 319

9.6. Охрана сооружений на земной поверхности закладкой выработанного пространства 329

9.7. Охрана сооружений на земной поверхности комбинированным способом 333

9.8. Оценка природного поля напряжений в массиве по наблюдениям за сдвижением горных пород 337

ŋqdqʎeʎ bƎ dedƎbʎɜe d ɕɑɑbɔʎɐ Ɉqddʎqʎè

ŋqdqȺeɎ bɆ dedɆbɎɜe d ɕɔɑbɔȺ ɈqqdɎqȺè

Глава 10
МОНИТОРИНГ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД 347
10.1. Цель мониторинга 347
10.2. Средства мониторинга 348
10.3. Организация мониторинга массива Жезказганского месторождения 351
10.4. Выявление ослабленных участков по данным визуального обследования 352
10.5. Сейсмический контроль геомеханических процессов в налегающей толще 355
10.6. Оценка устойчивости налегающей толщи по результатам наблюдений за сдвижением земной поверхности 372
10.7. Экспресс-оценка текущего состояния выработанного пространства, налегающих пород и земной поверхности 376

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 379

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА 380

ŋqdqȺeɎ bɆ dedɆbɎɜe d ɕɔɑbɔȺ ɈqqdɎqȺè