Дисциплина «Механика горных пород»
для студентов ОП 6В07202 "Горное дело"

Лекция 1. Введение в практическую геомеханику. Основные задачи и методы исследований

Цель лекции: Сформировать у студентов понимание предмета и задач практической геомеханики, ее роли в системе геотехнологии; ознакомить с классификацией геомеханических задач и основными методами исследований; дать представление об этапах геомеханического обоснования горных работ.

План лекции:

1) Предмет и задачи практической геомеханики, её место в системе геотехнологии.

2) Классификация геомеханических задач: оценка устойчивости, прогноз горного давления, обоснование параметров крепи, управление сдвижением пород.

3) Методы исследований: натурные наблюдения (мониторинг), лабораторные испытания, физическое и численное моделирование, рейтинговые классификации.

4) Этапы геомеханического обоснования горных работ.

1. Предмет и задачи практической геомеханики, её место в системе геотехнологии

1.1. Определение и предмет практической геомеханики

Геомеханика – наука о механическом поведении горных массивов и пород под воздействием естественных и техногенных факторов. ***Практическая геомеханика*** – прикладной раздел, ориентированный на решение конкретных инженерных задач при проектировании, строительстве и эксплуатации горных предприятий.

Предметом практической геомеханики является изучение, оценка и прогнозирование напряженно-деформированного состояния (НДС) горных массивов в связи с ведением горных работ, а также разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости выработок и эффективному управлению горным давлением.

Основная задача – количественное обоснование параметров горных работ (формы и размеров выработок, систем разработки, параметров крепи, порядка отработки) на основе геомеханических расчетов и наблюдений.

1.2. Связь с другими дисциплинами и место в системе геотехнологии

Практическая геомеханика является интеграционной дисциплиной, объединяющей:

- Механику горных пород (теоретическая основа – законы деформирования и разрушения);

- Инженерную геологию (строение массива, трещиноватость, гидрогеология);

- Маркшейдерию (геодезический мониторинг смещений);

- Технологию подземной разработки (системы разработки, очистные работы);

- Строительную механику (расчет крепи и конструкций);

- Численные методы и программирование (моделирование НДС).

В системе геотехнологии (науки о методах и средствах освоения недр) практическая геомеханика выполняет роль фундаментального обоснования – без надежной оценки устойчивости и горного давления невозможно создать безопасную и эффективную технологию добычи.

1.3. Практическая значимость

- Безопасность: Предотвращение обрушений, горных ударов, прорывов воды.
- Экономическая эффективность: Снижение затрат на крепление, уменьшение потерь и разубоживания руды, увеличение полноты извлечения запасов.
- Экологическая ответственность: Минимизация сдвижений земной поверхности, сохранение объектов инфраструктуры.

2. Классификация геомеханических задач

В зависимости от масштаба, объекта и цели выделяют четыре основные группы задач.

2.1. Оценка устойчивости горных выработок и обнажений

Это наиболее часто встречающаяся задача. Она включает:

- Определение размеров зон неупругих деформаций (ЗНД) вокруг выработок;

- Прогноз смещений (сходимости) кровли, почвы и боков;

- Расчет коэффициента запаса прочности (Strength Factor) для различных элементов выработки;

- Оценку влияния формы сечения, глубины, напряженного состояния на устойчивость.

Пример: Расчет максимально допустимого пролета камеры без крепления.

2.2. Прогноз горного давления и нагрузок на крепь

Здесь основное внимание уделяется количественной оценке:

- Вертикального и горизонтального давления от налегающих пород;

- Распределения нагрузок по контуру выработки;

- Учета времени (ползучесть пород, релаксация напряжений).

Результатом являются расчетные нагрузки, которые должна выдержать крепь. Без этого невозможно проектирование крепления.

2.3. Обоснование параметров крепи

На основе прогнозных нагрузок и условий эксплуатации решаются задачи:

- Выбор типа крепи (анкерная, набрызг-бетонная, рамная, комбинированная);
- Расчет длины, шага и несущей способности анкеров;
- Определение толщины набрызг-бетона, густоты армирования;
- Проектирование рамной крепи (профиль, шаг, затяжка).

Также учитываются рейтинговые классификации массива (RMR, Q, GSI), которые дают рекомендации по креплению.

2.4. Управление сдвижением горных пород и охрана объектов

Эта группа задач связана с крупномасштабными деформациями:

- Прогноз мульды сдвижения над выработанным пространством;
- Оценка влияния очистных работ на земную поверхность, здания, коммуникации;
- Обоснование параметров целиков (барьерных, охранных);
- Разработка мероприятий по снижению сдвижений (закладка выработанного пространства, частичная выемка).

Особое значение имеет для городов и промышленных объектов, расположенных над шахтными полями.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

▼

1. Оценка устойчивости → Зоны разрушения, смещения
2. Прогноз горного давления → Нагрузки на крепь
3. Обоснование параметров крепи → Тип, размеры крепи
4. Управление сдвижением → Охрана объектов

3. Методы исследований в практической геомеханике

Современная практическая геомеханика опирается на четыре группы методов: натурные наблюдения, лабораторные испытания, физическое и численное моделирование, рейтинговые классификации. Все они взаимно дополняют друг друга.

3.1. Натурные наблюдения (мониторинг)

Это наиболее достоверный источник информации, так как данные получают непосредственно в массиве.

Основные направления:

- Измерение смещений: с помощью реперов, экстензометров, стеномеров (конвергенция). Позволяет отслеживать скорость и величину деформаций.
- Контроль напряжений: тензометрические датчики, гидравлические домкраты (методы разгрузки, компенсации).
- Геофизические методы: сейсмоакустика (микросейсмический мониторинг – локация очагов разрушения), ультразвуковое просвечивание (оценка трещиноватости).

- Геодезический мониторинг: тахеометрия, GPS, лазерное сканирование (для карьеров и сдвижений поверхности).

3.2. Лабораторные испытания

Проводятся на образцах горных пород, отобранных из керна или из обнажений.

Основные типы испытаний:

- Одноосное сжатие – определение $\sigma_{сж}$, E, ν.
- Трехосное сжатие (при разных боковых давлениях) – построение паспорта прочности (c, φ).
- Растяжение (бразильский метод) – $\sigma_р$.
- Сдвиг (прямой или косой) – c, φ.
- Специальные: ползучесть, релаксация, трещиностойкость, ультразвуковые измерения.

Свойства образца отличаются от свойств массива из-за масштабного эффекта и трещиноватости. Поэтому используют поправочные коэффициенты (например, по GSI).

3.3. Физическое моделирование

Создание уменьшенных моделей из эквивалентных материалов (например, гипс, песок, парафин) или использование поляризационно-оптического метода (фотоупругость).

Области применения:

- Изучение механизмов разрушения вокруг выработок;
- Визуализация зон концентрации напряжений;
- Оценка влияния формы выработки и порядка отработки.

3.4. Численное моделирование

Современный «золотой стандарт» геомеханических расчетов. Используются методы: конечных элементов (МКЭ), дискретных элементов (МДЭ), граничных интегральных уравнений (ГИЭ).

Популярные программные комплексы:

- RS2/RS3 (Rocscience) – 2D/3D МКЭ для проектирования выработок;
- FLAC2D/3D (Itasca) – метод конечных разностей, хорошо для пластических деформаций;
- UDEC/3DEC – метод дискретных элементов для трещиноватых массивов;
- PLAXIS – для геотехники (фундаменты, откосы).

Возможности:

- Учет сложной геометрии, многослойности, анизотропии;
- Моделирование поэтапной отработки;
- Расчет полей напряжений, смещений, зон разрушения (Strength Factor);
- Проведение многовариантных расчетов (параметрический анализ).

3.5. Рейтинговые классификации

Эмпирические системы оценки качества массива на основе геологических и геомеханических параметров. Позволяют быстро оценить устойчивость и выбрать тип крепи без сложных расчетов.

Основные системы:

- RQD (Rock Quality Designation) – индекс качества по выходу керна.
- RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski) – 6 параметров, итоговый балл, класс массива.
-Q-system (Barton) – учет напряжений и водоносности.
- GSI (Geological Strength Index) – визуальная оценка структуры и состояния трещин (ключ для критерия Хока-Брауна).

Используются для предварительных оценок, а также как один из источников данных для численного моделирования (например, GSI для определения параметров прочности массива).

4. Этапы геомеханического обоснования горных работ

Геомеханическое обоснование – это циклический процесс, который сопровождает проект от начальной идеи до эксплуатации. Выделяют 4 основных этапа.

4.1. Сбор и анализ исходных данных

На этом этапе изучаются геологические разрезы, тектонические нарушения, трещиноватость; отбираются образцы пород для лабораторных испытаний; проводятся натурные замеры (если есть выработки – замеры смещений); определяются рейтинговые показатели (RQD, GSI, RMR, Q) по керну или обнажениям. Результат: база данных физико-механических свойств пород, схема структурного районирования массива.

4.2. Оценка начального (естественного) поля напряжений

Определение напряжений in situ:

- Оценка по эмпирическим формулам ($\sigma_v = \gamma \cdot H$, $\sigma_h = \lambda \cdot \sigma_v$);
- Натурные измерения (метод гидроразрыва, разгрузки, акустической эмиссии);
- Учет тектонической составляющей.

4.3. Численное или аналитическое моделирование НДС

В зависимости от сложности:

- аналитические решения (Кирш, Протодьяконов, зона пластических деформаций) – для простых условий;
- численное моделирование (RS2, FLAC) – для сложной геометрии, неоднородности, поэтапной отработки.

В результате определяются поля напряжений, смещений, зон неупругих деформаций, коэффициенты запаса прочности.

4.4. Разработка рекомендаций и их реализация

На основе моделирования выбирается форма и размеры выработок, система разработки; обосновываются параметры крепи (тип, длина анкеров, шаг, толщина набрызг-бетона); определяются безопасные расстояния до выработанных пространств; разрабатывается программа мониторинга.

Заключительный этап – сравнение прогнозов с натурными данными и обратный анализ (уточнение модели по замерам). Это позволяет корректировать параметры при эксплуатации.

Заключение по лекции

Практическая геомеханика является фундаментом безопасного и эффективного проектирования горных работ. Она интегрирует знания из геологии, физики, механики и вычислительных технологий для решения ключевых задач: оценки устойчивости выработок, прогноза горного давления, выбора крепи и управления сдвижением пород. Методологический арсенал включает натурные наблюдения, лабораторные испытания, физическое и численное моделирование, а также рейтинговые классификации. Последовательное выполнение этапов геомеханического обоснования позволяет минимизировать риски и повысить полноту извлечения запасов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что является предметом практической геомеханики и какова её роль в системе геотехнологии?
2. Перечислите четыре основные группы геомеханических задач и кратко охарактеризуйте каждую.
3. Назовите методы исследований, используемые в практической геомеханике. В чем преимущества и недостатки численного моделирования по сравнению с натурными наблюдениями?
4. Что такое рейтинговые классификации массива горных пород? Какие из них наиболее распространены и для чего используется GSI?
5. Опишите последовательность этапов геомеханического обоснования горных работ.