

ВВЕДЕНИЕ

1. Краткая история развития геомеханики

История развития геомеханики, или механики горных пород, охватывает сравнительно небольшой период от начала прошлого века до наших дней. В 1907 году была опубликована монография М.М. Протодьяконова «Давление горных пород на рудничную крепь», которая явилась первой теоретической работой по механике горных пород. В ней была изложена гипотеза образования свода естественного равновесия над горными выработками и на её основе выполнен расчет крепи для шахт неглубокого заложения.



Михаил Михайлович Протодьяконов (1874 – 1930)

В 1911 году появляются работы Т. Кармана по изучению поведения горных пород в условиях всестороннего сжатия, в которых он проверяет правильность предпосылок теории прочности О. Мора.

В 1920-1950 годах опубликованы работы О.Ф. Графа, Ф.А. Белаенко, А.А. Борисова, М.И. Койфмана, Г.Н. Кузнецова, В.Д. Слесарева, Д.С. Ростовцева, А.И. Целигорова, П.М. Цимбаревича и других авторов, посвященные вопросам определения величины давления горных пород на крепь, изучения физико-механических свойств горных пород и массивов, устойчивости горных выработок. Исследования этого периода основываются, в основном, на простых моделях среды и изучаемых объектов.

Позже были опубликованы фундаментальные работы в области горного давления, базирующиеся на положениях теории упругости, пластичности и ползучести (Ф.А. Белаенко, В.В. Виноградов, Ж.С. Ержанов, Л.В. Ершов, Б.А. Картозия, А. Лабасс,

Ю.М. Либерман, Г.Г. Литвинский, Л.Я. Парчевский, А.Г. Протосеня, К.В. Руппенейт, А.Н. Шашенко, Е.И. Шемякин, Р. Феннер и др.), а также работы, в которых породный массив рассматривался на основе статистических моделей (И.В. Баклашов, М.А. Долгих, В.В. Матвиенко, Л.Я. Парчевский, К.В. Руппенейт, А.Н. Шашенко, В.И. Шейнин и др.).

К этому времени в геомеханике сформировалось самостоятельное направление, связанное с исследованием газодинамических проявлений горного давления (С.Г. Авершин, Л.Н. Быков, А.Н. Зорин, И.М. Петухов, В.В. Ходот, Е.И. Шемякин и др.)

Большой комплекс работ по исследованию проявлений горного давления в натурных условиях был выполнен научными коллективами под руководством В.Т. Глушко, Ю.З. Заславского, А.Н. Зорина, Г.А. Крупенникова, А.П. Максимова, И.Л. Черняка и др.

Одновременно проводились обширные лабораторные исследования по моделированию геомеханических процессов (Г.Н. Кузнецов, В.Ф. Трумбачев и др.) и по изучению физико-механических свойств (Л.И. Барон, З.Т. Бенявский, В.В. Виноградов, Е.И. Ильницкая, Ю.М. Карташов, А. Кук, Б.В. Матвеев, В.В. Ржевский, К.В. Руппенейт, А.Н. Ставрогин, Б.М. Усаченко, Л.А. Шрейнер, В.С. Ямщиков, и др.).

С развитием вычислительной техники большое значение в геомеханике приобрели численные методы исследования сложных многосвязных физических моделей (Б.З. Амусин, Ж.С. Ержанов, Т.Д. Каримбаев, С. Крауч, Л.В. Новикова, Е.А. Сдвижкова, А. Старфилд, Б.А. Фадеев, и др.)

В настоящее время методы механики горных пород являются основой для создания глобальных компьютерных систем геомеханического мониторинга (ГМ-мониторинга) породного массива в окрестности выработок, с помощью которых осуществляется эффективное и безопасное освоение подземного пространства.

2. Основные понятия и определения

Геомеханика, как и любая другая наука, оперирует некоторыми базовыми понятиями и определениями, сформировавшимися в процессе ее развития. Усвоение их необходимо для правильного понимания содержания дисциплины.

Минералы – это химические соединения, образовавшиеся в недрах Земли.

Горные породы - это минеральные агрегаты более или менее постоянного состава, образовавшиеся в результате геологических процессов. Горные породы слагают кору Земли. Верхняя часть земной коры, затронутая выветриванием и почвообразованием, представлена особыми породами, называемыми **грунтами**.

Литологическая разность - это часть земной коры, сложенная горной породой одного наименования. Небольшой объем горной породы, отобранный из литологической разности с целью определения ее свойств, называется **породным образцом**.

Создание искусственных полостей под землей вызывает местное, или локальное, изменение напряженно-деформированного состояния в горных породах. Та часть земной коры, в пределах которой локализуются механические процессы, вызываемые горными работами, называется **породным массивом**.

Механические свойства горных пород - это класс физических свойств, характеризующих поведение пород при различных силовых воздействиях.

Механические свойства горных пород подразделяются на:

- **деформационные**, характеризующие способность пород деформироваться под нагрузкой;
- **прочностные**, характеризующие сопротивляемость пород различным силовым воздействиям;
- **реологические**, характеризующие изменение прочностных и деформационных свойств во времени.

Геомеханические процессы - это механические процессы, развивающиеся вокруг горных выработок как следствие их проведения, стабилизирующиеся или не стабилизирующиеся во времени. Геомеханические процессы часто называют **горным давлением**, которое следует понимать как совокупность сил, действующих в породном массиве. Природа этих сил различна: гравитация, геотектоника, гидростатика, давление газа и т.д.

Проявления геомеханических процессов, или горного давления, - это визуально или инструментально наблюдаемые в выработках или породном массиве реализации внутренних сил в виде горных ударов, выбросов, вывалов, поднятия почвы, смещения контура выработок и т.п.

Под геомеханическим состоянием породного массива понимают совокупность деформационных, прочностных, геологических, акустических и гидрогеологических параметров, характеризующих его поведение при проведении и эксплуатации горных выработок.

3. Модели в геомеханике и структура исследований

Основная цель геомеханики, как уже отмечалось, состоит в прогнозировании поведения породного массива при создании в нем искусственных полостей. Инженеру еще на стадии проектирования горнодобывающего предприятия необходимо иметь знания о том, какова будет нагрузка на крепь горных выработок и величина смещений контура породного обнажения, какова вероятность газодинамических проявлений горного давления, будут ли устойчивы почва выработок, борта карьеров и откосы отвалов, и о многих других геомеханических показателях, которые позволили бы впоследствии безопасно и экономично осваивать земные недра. Получают эти знания исследователи на основе построения, математического описания и анализа соответствующих геомеханических моделей.

Моделирование лежит в основе человеческой деятельности. Человек вообще воспринимает окружающий мир, как совокупность моделей: психологических, философских, физических, экономических и других, которые являются лишь приближенным отражением в сознании объективно существующей реальности. Чем выше уровень знаний об окружающем мире, тем ближе модели соответствуют действительности. При этом очевидно, что полное соответствие модели реальным объектам недостижимо в принципе. По этому поводу выполнены обширные исследования, написаны сотни книг и статей.

Весьма полезное обобщение этих работ выполнено в работе И.И. Блехмана, А.Д. Мышкиса и Я.Г. Пановко [20]. Авторы дают такое определение модели: **«объект М является моделью объекта А относительно некоторой системы S характеристик (свойств), если М строится (или выбирается) для имитации А по этим характеристикам»**. При этом под объектом А подразумевается любое материальное тело, действие, ситуация. Модель может быть **исследовательской**, для изучения указанных характеристик, или **рабочей**, для непосредственного использования, например, автопилот, детская игрушка, деньги и т.п. В геомеханике рассматриваются только исследовательские модели.

Процесс решения задач в геомеханике состоит, как правило, из нескольких основных этапов (рис. 1).

Вначале формулируется общая проблема (задача), оценивается её **актуальность**, определяется **идея** и конечная **цель исследований**. Например, **объектом исследований** являются механические процессы, протекающие в окрестности подземных или открытых горных выработок. Требуется детально изучить **предмет исследований**, т.е. распределение напряжений и деформаций (перемещений) вокруг искусственных полостей и найти такие инженерные решения (форма поперечного сечения, вид, конструкция, несущая способность крепи и т.п.), при которых выработка будет иметь техническую устойчивость в течение заданного промежуточного времени.

После этого составляется общая **методика исследований**, в которой устанавливаются порядок выполнения работ, необходимое количество экспериментов и образцов для их испытаний в лаборатории, требования к устройству наблюдательных станций (экспериментальных участков).

Следующий, очень важный этап исследований состоит в изучении объекта исследований в натурных условиях. Для этого собирают геологические, гидрогеологические и горнотехнические характеристики того участка породного массива, в котором будет сооружаться выработка. При необходимости производят отбор проб литологических разностей, изготовление породных образцов и их испытание в условиях сертифицированных лабораторий.

Устанавливаются физико-механические характеристики вмещающих пород, их слоистость и трещиноватость, размеры и расположение выработки в пространстве, способ сооружения, срок службы и т.п. Если существуют аналогичные объекты, например однотипные подготовительные выработки, камеры, то с целью сбора дополнительной информации в них устраивают замерные станции, в пределах которых по разработанной методике выполняют соответствующие натурные измерения. Анализируется опыт эксплуатации подобных объектов в сходных горно-геологических условиях. Собранные данные являются основой для проведения лабораторных испытаний на **физически реализуемых моделях**, например, с помощью оптического моделирования, моделирования на эквивалентных материалах, центробежного моделирования и т.п.

Данные физического моделирования в совокупности с результатами натурных измерений являются тем исходным материалом, по-

средством которого создаются так называемые **физические умозрительные модели** (см. рис. 1). Таковыми являются, например, сплошная среда в теории упругости, идеальный шарнир в строительной механике, сыпучая среда в статике сыпучей среды и т.п. Умозрительные физические модели достаточно близко отражают изучаемый объект, но не имеют свойственных ему дефектов и несовершенств.

На основе умозрительной физической модели создаются **математические модели**. Следует отметить, что в зависимости от целей исследования, состояния математического аппарата, имеющихся возможностей вычислительных машин один и тот же объект может иметь несколько неэквивалентных моделей. Так, например, один и тот же объект может быть описан с помощью упругой и упругопластической, дискретной и непрерывной, детерминированной и стохастической, а также других моделей. Многообразие моделей одного и того же объекта позволяет рассмотреть его с разных точек зрения, выделяя и подчеркивая интересующие исследователя параметры. Такой подход позволяет получить достаточно глубокие и всесторонние данные об объекте и повысить их достоверность.

Если математическая модель выбрана, то степень совершенства её построения определяется уровнем адекватности и числом независимых переменных, т.н. **управляющих параметров**. То есть, с одной стороны математическая модель M должна быть адекватна реальному объекту A в рамках изучаемых характеристик (свойств) S , а с другой стороны – полученные результаты должны быть доступны анализу и пониманию. Последнее возможно только в том случае, если число управляющих параметров сравнительно невелико и, вообще говоря, не превышает трех, а иногда даже одного.

Создание моделей это и наука, и в то же время искусство, уровень которого во многом определяется личностью и опытом исследователя.

После того, как математическая модель объекта определена, выбирается **метод решения задачи**, на основе которого будет выполнена реализация этой модели. При этом необходимо заранее представлять необходимую точность вычислений, которая должна соответствовать природе изучаемого объекта. В геомеханике это горные выработки, расположенные в породном массиве, определение физикомеханических свойств которого возможно со сравнительно невысокой степенью точности.

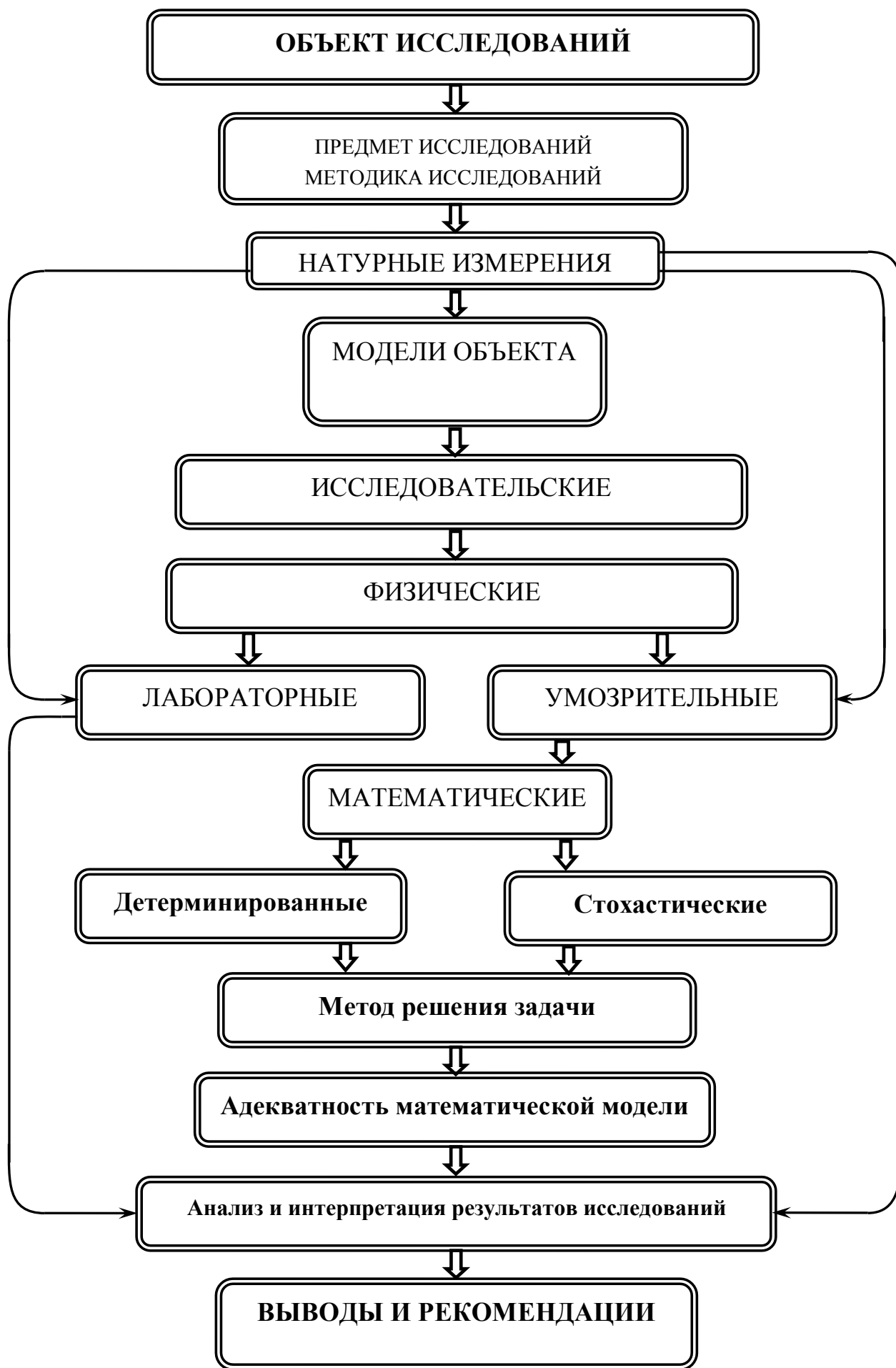


Рис. 1. Структура исследований в геомеханике

В этой связи нет смысла привлекать к решению математической модели методы, дающие неоправданно точные результаты. Так, например, при использовании численных методов исследований напряжений и деформаций вокруг выработок элементы, на которые разбивается массив, должны иметь разумные размеры, число итераций при решении определенного класса упругопластических задач должно быть сравнительно небольшим и т.д.

Затем на основе выбранного метода исследуется математическая модель, проверяется ее **адекватность** реальному объекту путем сравнения полученных результатов с натурными и лабораторными измерениями. Если совпадение этих результатов является достаточно близким, то поставленная задача успешно решена, и можно приступить к их осмыслению, формулировке выводов и определению направлений дальнейшего применения установленных закономерностей.

Закономерности, полученные в результате исследований, формулируют в виде констатации достоверно доказанного факта и формы зависимости изучаемого параметра (параметров) от других, с указанием, по возможности, практической направленности полученных соотношений. Например: **доказано, что величина перемещений контура подземной выработки, определяющих её устойчивость, прямо пропорциональна прочности вмещающего породного массива и обратно пропорциональна глубине её расположения, что позволяет на этой основе осуществлять прогноз проявлений горного давления и проектировать системы крепи.**

