УДК 622.83; 519.62

Е.Р.КОВАЛЬСКИЙ, *канд. техн. наук, доцент, e.r.kovalsky@gmail.com*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

E.R.KOVALSKY, *PhD in eng. sci., associate professor, e.r.kovalsky@gmail.com*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКЕ

Приведена характеристика численного эксперимента как одного из методов исследования в горной геомеханике. Дано определение метода, описаны его достоинства и недостатки, а также спектр решаемых задач. Рассмотрены особенности массива горных пород, как объекта для численного моделирования.

***Ключевые слова*:** массив горных пород, численное моделирование, математическая модель, горная геомеханика.

PURPOSES OF NUMERICAL EXPERIMENT IN ROCK MECHANICS

Numerical experiment is characterized as one of the research methods in rock mechanics. Definition of the method is given. Specifics of rock mass as a research object are described.

***Key words*:** rock mass, numerical modeling, mathematical model, rock mechanics.

В горной геомеханике основным объектом исследования является массив горных пород (МГП) и находящиеся в нем объекты (протяженные выработки, камеры, выработанные пространства, сооружения и т.д.). МГП представляет собой сложную (с инженерной точки зрения) среду. Он формируется под действием природных сил в течение геологического времени, что приводит к следующим его особенностям:

- структура и строение массива каждой характерной подобласти существенно различны;
- свойства массива различаются от точки к точке и являются функцией координат;
- массив изначально находится в предварительно напряженном состоянии;
- свойства, структура и характеристики слагающих пород, как правило, труднодоступны для непосредственной оценки и измерений;
- массив неоднороден и не является сплошной средой.

Данные аспекты приводят к невозможности непосредственного (без упрощений) отображения массива горных пород в эксперименте и к необходимости его идеализации. Один из способов идеализации МГП – создание и последующее изучение его математической модели, упрощенной по сравнению с реальным МГП, однако достаточной для достижения цели исследования.

Численный (компьютерный) эксперимент в горной геомеханике представляет собой эксперимент над математической моделью объекта исследования на ЭВМ, который состоит в том, что по одним параметрам модели вычисляются другие ее параметры и на этой основе делаются выводы о свойствах объекта, описываемого математической моделью*.

---

* *Турчанинов И.А.* Основы механики горных пород / И.А.Турчанинов, М.А.Иофис, Э.В.Каспарьян. Л., 1977.
Turchaninov I.A. Basics of rock mechanics / I.A.Turchaninov, M.A.Iofis, E.V.Kasparian. Leningrad, 1977.

Моделирование многочисленных физических явлений в МГП с помощью математических моделей часто приводит к решению линейных или нелинейных уравнений или систем уравнений в частных производных. Существуют традиционные математические средства, позволяющие получить решение в определенных случаях (анализ Фурье, разложение в ряд и т.п.), но наиболее эффективным средством являются приближенные численные методы, сущность которых заключается в дискретизации «пространственной» и (или) «временной» областей задания дифференциальных функций и решении аппроксимирующих уравнений. Степень «приближения» к реальному решению, точнее к реальным характеристикам процесса, зависит от степени дискретизации моделируемой проблемы в численном эксперименте.

Применение численных методов в горной геомеханике имеет ряд преимуществ перед другими методами моделирования: универсальность, возможность учета большого числа влияющих факторов, относительно низкие временные и трудозатраты на разработку моделей (по сравнению с физическими экспериментами) и т.д. Однако имеются и недостатки: точность численных методов существенно превышает точность исходных горно-геологических данных, в связи с чем нивелируется одно из основных достоинств данного метода – высокая точность. Кроме того, для разработки математической модели, задания ее параметров и правильной интерпретации получаемых результатов необходимы высокая квалификация исследователя, специализированное программное обеспечение, реализующее процедуры численных методов.

Отметим также, что в численном эксперименте, строго говоря, не отражаются природные явления, так как он сам является численной реализацией созданной математической модели. Другими словами, при некорректности математической модели ее численное решение может сильно расходиться с физической реальностью.

С ростом производительности вычислительных средств численный эксперимент приобретает особое значение, так как позволяет дополнить или даже заменить прямой (физический) эксперимент. Последний часто дорог, его постановка бывает трудоемкой или вообще невозможной (например, моделирование устойчивости плотин, воздействия землетрясений и др.).

Численный эксперимент в горной геомеханике может быть применен для решения следующих основных задач:

1) интерпретация – использование численных моделей для анализа (интерпретации) лабораторных или полевых данных, объяснения причин возникновения того или иного процесса, события, явления в МГП при ведении горных работ;

2) проектирование – использование моделей для сравнения различных вариантов проектов, качественного описания поведения МГП и проектируемого объекта (системы) при разных альтернативах, параметрах, характеристиках и т.д.;

3) прогноз – использование моделей для количественной оценки параметров конкретного проекта.

Моделирование и проектирование подземных сооружений всегда производится в условиях недостаточности данных: информация о действующих напряжениях, свойствах и наличии неоднородностей в МГП всегда частична и никогда не бывает полной. В связи с этим моделирование горно-геомеханических процессов целесообразно выполнять не для конкретных условий, а для их набора в определенном интервале. При этом границы интервала определяются из разумных соображений об условиях, месте и обстоятельствах строительства и эксплуатации проектируемого объекта.

Таким образом, цель горно-геомеханических исследований на основе численных методов варьируется от задачи к задаче, однако в обобщенном виде ее можно сформулировать следующим образом: оценка параметров напряженно-деформированного массива горных пород и вмещаемых объектов во времени и пространстве для диапазона заданных условий.

В целом, при разработке конкретных моделей и собственно моделировании, сле-

Типичная ситуация	Сложная геология; труднодоступность участка строительства; отсутствие возможностей (например, бюджета) на разведку или тестовые испытания	⟷	Простая геология; легкодоступность участка строительства; на разведку и предварительные исследования потрачены существенные средства
Данные	Отсутствуют	⟷	Полное описание участка строительства и эксплуатации
Способ применения	Исследование (качественное) механизмов и процессов; простое описание возможных вариантов поведения системы	← Параметрические исследования; исследования в диапазоне возможных условий →	Прогноз (прямое использование численных моделей в проекте)

Спектр ситуаций, моделируемых с помощью численных методов

дует иметь в виду, что весь спектр возможных ситуаций может описываться широким кругом условий с точки зрения доступности исходных данных (см. рисунок).

Методы численного моделирования могут использоваться на уровне прогноза и проектирования либо как «численная лаборатория» для проверки идей, механизмов и гипотез. В каких именно целях будет использоваться численное моделирование в той или иной ситуации, в первую очередь определяется реальной ситуацией и условиями на исследуемом участке (наличием исходных данных), а не возможностями самих методов численного моделирования.

Из всего сказанного следует, что спектр условий и характеристик МГП как инженерной среды является очень многообразным и во многих случаях труднопрогнозируемым. Разработка, обоснование и выбор математических моделей, описывающих поведение МГП, а также задание их параметров (геометрии, свойств, начальных и граничных условий и т.д.) является весьма нетривиальной задачей. Л.А.Чепа и Н.М.Бугайова* подчеркивают, что механика горных пород не стремится к получению точных решений, так как по отношению к такому неоднородному объекту, как горные работы, это было бы невозможно и нецелесообразно. Так как исходные данные, необходимые для анализа, ограничены, то прямым назначением численных моделей в горной геомеханике является описание доминирующих процессов, оказывающих влияние на исследуемую систему, и уже затем – получение точного количественного решения. Как только поведение системы описано и понято, дальнейшее проектирование объекта (подземного сооружения) становится более конкретным и целенаправленным.

* *Чепа Л.А.* Проблемы обеспечения валидности эксперимента в условиях виртуальной среды / Л.А.Чепа, Н.М.Бугайова // Экспериментальный метод в структуре психологического знания. М., 2012.

Chepa L.A. Problems of validity of virtual experiment / L.A.Chepa, N.M.Bugaiova // Experimental method in structure of psychological knowledge. Moscow, 2012.