

В соответствии с выше указанным, МГРИ им. Серго Орджоникидзе акцентирует на этом свое внимание в научном и учебном планах при подготовке горных инженеров и магистров на кафедре Горное дело.

Литература

1. Разработка научно обоснованных направлений структурно-инновационной трансформации угольной промышленности России. Отчет НИР. М.: АО «Росинформуголь». 2018. С. 1117.

2. Рожков А.А., Кантович Л.И., Грабский А.А., Грабская Е.П.. К вопросу импортозамещения и локализации производства основного технологического оборудования в угольной промышленности России. М. Горное оборудование и электромеханика. 2018. № 2. С. 50-57.

УДК 622.89

Журавков М.А.

(Белорусский государственный университет, г. Минск)

АКТУАЛЬНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОМЕХАНИКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ БЕЛАРУСИ

Введение. В связи со все более широкомасштабным освоением подземного пространства, спектр и количество актуальных фундаментальных и прикладных задач геомеханики стремительно возрастает. Прирост минеральной ресурсной базы в настоящее время можно обеспечить только за счет разработки участков породных массивов, которые ранее были отнесены к низко рентабельным (в силу больших глубин залегания полезного пласта, либо сложных геологических условий и т.д.). В качестве примера могут служить новые участки месторождения калийных солей, которые в настоящий момент или в перспективе начинает отрабатывать ОАО «Беларуськалий». Эти участки характеризуются большими глубинами залегания полезных ископаемых, крутыми углами падения продуктивных слоев, имеются осложнения с обеспечением необходимой водозащитной пачки и др.

Очевидно, что интенсивное освоение подземного пространства приводит к количественным и качественным изменениям в геомеханических процессах и явлениях и даже к новым, ранее не имеющим места проявлениям. В связи с этим, *в настоящее время, иногда даже коренным образом, меняются представления о природе геомеханических явлений и процессов.* Поэтому появляется целый ряд новых научных

проблем и вопрос, связанных, с одной стороны, с исследованием влияния техногенных факторов на среду, а, с другой стороны, с изучением поведения породной толщи и умением управлять природными процессами в изменившихся условиях.

Рассмотрим некоторые важные направления геомеханических исследований и актуальные задачи, требующие своего решения, применительно к условиям разработки месторождений калийных солей Беларуси.

1. Углубление и расширение фундаментальных знаний о поведении подрабатываемых массивов калийных горных пород. Одной из наиболее важных первостепенных задач геомеханики является задача разработки моделей породных массивов, наиболее адекватно описывающих их состояние и поведение с учетом накопленных к настоящему времени новых фактов и представлений о поведении породных массивов в том числе и с учетом техногенного вмешательства.

Весьма сложным является учет изменчивости во времени полей напряжений в массиве вокруг подземных сооружений в связи с большим разнообразием влияющих факторов. Значительные затруднения вызывает учет структурно-неоднородного строения породной толщи. В массивах горных пород, естественное равновесное состояние которых нарушено техногенной деятельностью вследствие деформационных процессов, в общем случае формируются области, находящиеся в различных структурных состояниях. В связи с этим в общем случае математические формулировки модельных задач для изучения геомеханических процессов в выделенных характерных зонах подработанной породной толщи должны быть различными.

Поэтому, проблема построения механико-математических моделей, предназначенных для изучения НДС породного массива от глубин техногенной деятельности (горные работы, специальные инженерные сооружения и т.д.) вплоть до дневной поверхности, является задачей актуальной и весьма сложной.

На сегодня одной из важных задач является разработка, развитие и адаптация современных продвинутых подходов и методов математического моделирования для выполнения компьютерного моделирования широкого класса прикладных геомеханических процессов. При этом основной упор должен быть сделан на изучение физических процессов, моделирование которых весьма трудоемко или практически невозможно произвести с помощью иных подходов.

Кроме того, в число основных выдвигается проблема изучения взаимосвязи процессов деформирования и разрушения геоматериалов и массивов горных пород с их структурой и внутренними дефектами,

как начальными, так и появляющимися и развивающимися в процессе нагружения. Следует отметить остающуюся актуальной *проблему моделирования деформационных процессов в породных массивах, насыщенных газом и жидкостью*. С ее решением связана разработка мер борьбы с такими опасными явлениями, как внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках и предотвращение затопления рудников.

Необходимо существенным образом расширить «стандартные» подходы и схемы к построению механико-математических моделей задач геомеханики. *Следует обязательным образом исследовать поведение массивов горных пород при «попадании» на диаграмме деформирования на участок послепиковой стадии при развитии деформационных процессов*. Как уже указывалось, важным является то обстоятельство, что на ниспадающей ветви напряжения и деформации не связаны между собой однозначной зависимостью, а представляют собой величины, определяемые независимо и по отдельности из основных законов механики [1].

В настоящее время представляется неоспоримым положение о том, что *для правильного описания поведения породных массивов и их откликов на внешние воздействия необходимо учитывать сложное строение массивов, разделенных поверхностями и зонами ослабления на отдельные блоки различного масштабного уровня* [2].

Несмотря на выполненное существенное количество научно-исследовательских работ, *до настоящего времени остается не изученной и не решенной проблема прогнозирования и описания такого опасного явления, как динамические явления при ведении горных работ с применением технологии длинными очистными забоями*.

2. К проблеме построения численных геомеханических моделей массивов горных пород со сложным структурным строением. Активное использование технологий компьютерного моделирования в геомеханике развивается по нескольким направлениям. Наиболее «наукоемкими» и имеющими очень широкий спектр приложений представляются такие направления, как *построение компьютерных цифровых геомеханических моделей породных массивов с учетом их структурных особенностей и с разветвленной системой подземных сооружений*, а также *изучение и прогнозирование физических процессов в массивах горных пород при воздействии естественных и техногенных источников возмущений на основе построенных компьютерных геомеханических моделей*.

Построение трехмерной компьютерной (цифровой) геомеханической модели участка породного массива представляет собой нетривиальную, весьма сложную задачу. При построении такой модели требуется

обобщение огромного количества мультидисциплинарных данных и знаний, накопленных как в науке, так и в практической деятельности [3]. При рассмотрении участков освоения подземного пространства и добычи полезного ископаемого тип последнего и способ его извлечения являются главными факторами, определяющими основные физические процессы, которые необходимо изучать в первую очередь. При добыче минеральных ресурсов шахтным способом структурный и функциональный состав геомеханической модели имеет определенную специфику, что обусловлено в первую очередь тем, что в процессе эксплуатации таких месторождений приоритетным является моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива.

3. Устойчивость подземных сооружений и массивов горных пород с крупномасштабной сетью подземных сооружений. Техногенные катастрофы. Одной из важных задач освоения подземного пространства является достоверный прогноз длительной устойчивости породного массива как в окрестности сложной системы подземных выработок, так и устойчивости рассматриваемой области породной толщи в целом. Изменения, накапливаемые в массиве под воздействием техногенных факторов, способны вызвать катастрофические последствия не только для отдельного подземного сооружения, но и для региона ведения горных работ в целом [4]. Результатом может быть крупномасштабная техногенная катастрофа, проявляющаяся в различном виде (что зависит от целого набора факторов).

В соответствии с основными законами теории катастроф, для инициирования процесса выделения накопленной в приконтурной зоне потенциальной энергии при определенных условиях достаточно незначительного внешнего воздействия [5].

Все более возрастающий уровень техногенных нагрузок формируется в регионе отработки Старобинского месторождения калийных солей. Разработка калийного месторождения ведется на достаточно ограниченном пространстве в пределах шахтных полей нескольких рудников. Целый комплекс проблем влечет за собой наличие в пределах региона солеотвалов и шламохранилищ. Необходимо отметить и тот факт, что в пределах региона ведения горных работ существуют зоны новейшей геодинамической активности, зоны с замещениями, флексурами и разломами. Данные факты подтверждаются результатами выполнения натурных исследований на геомеханических и геодинамических полигонах, организованных в пределах Старобинского месторождения калийных солей.

Для безопасного освоения подземного пространства особенно в сложных зонах и областях необходимо хорошо представлять себе механизм протекания деформационных процессов и разработать механико-математические модели, адекватно описывающие такие процессы и различные типы их проявлений. Следует констатировать, что на сегодняшний день все еще недостаточно знаний о механизмах протекания геомеханических и геодинамических процессов, и кинетики изменения напряженно-деформированного состояния массива в особых зонах в зависимости от совокупности природных и техногенных факторов.

Сегодня представляется доказанным факт того, что вывести из состояния устойчивого равновесия блочно-иерархическую геосреду можно источниками техногенного происхождения (например, крупномасштабными горными работами на ограниченном участке). Вместе с тем, *современный уровень развития науки и технологий не позволяет разработать единой теории управления техногенными динамическими процессами* как реакцией на активное освоение подземного пространства. Кроме того, время «наступления эффекта» может быть разным.

Известно, что в зонах наиболее активно нагружаемого массива инициируются медленные деформационно-волновые процессы, распространяющиеся затем на другие участки шахтных полей. Данный факт подтверждается, например, данными натурных наблюдений [6].

К настоящему времени (в результате выполненных многими исследователями долгосрочных сейсмологических наблюдений) доказано, что *горнодобывающая деятельность оказывает серьезное влияние на индуцированную сейсмичность* (хотя данный факт не является решающим). Увеличение глубины и интенсивности горных работ, объемов добычи полезных ископаемых повышает техногенную нагрузку на геомеханическое пространство месторождения, вызывая перераспределение напряжений и, как следствие, рост числа негативных проявлений горного давления в динамической форме.

Интерес представляет *эффект усиления волн на значительных расстояниях от источника их возбуждения*. Эффект состоит в том, что в сильно напряженных прочных горных породах *скорость, приобретаемая частицами около выработок, нередко оказывается на порядок больше скорости частиц вблизи от источника сейсмической волны* [7]. Дуррхейм Р.Д. и Линьков А.М. объясняют эффект усиления волн «подкачкой» упругой энергии из напряженных пород. *Эффект усиления представляется исключительно важным для понимания того, как сравнительно слабые сейсмические возмущения могут вызвать опасные динамические явления – горные удары в шахтах и землетрясения*

в земной коре. С точки зрения теории устойчивости, эти динамические явления представляют предельный случай усиления, когда бесконечно малое возмущение приводит к значительным, нередко катастрофическим последствиям.

Для получения замкнутой механико-математической модели массивов горных пород с учетом эффекта «дальнодействия» (или построение модели «самонапряженных» геосред) необходимо иметь физический закон, описывающий поведение и взаимодействие блоков рассматриваемых соответствующих уровней между собой при заданном виде возмущений массива.

При рассмотрении динамических срывов и техногенных землетрясений как физических процессов необходимо исходить из исходного положения, что эти явления представляют собой случайные процессы. Данное утверждение основывается, в частности, на том, что невозможно иметь полную информацию о состоянии породной толщи, о развитии процессов, обусловивших исходные предпосылки к возникновению этих явлений и о внешних факторах, способствовавших их реализации. То есть динамические срывы являются следствием чрезвычайно сложных и многообразных исходных детерминированных процессов, происходящих в породной толще и имеющих как естественное, так и техногенное происхождение. Их случайный характер определяется лишь ограниченностью знаний о природе всех явлений, предшествующих срывам.

Проблема выявления надежных признаков наступающего катастрофического события является актуальной задачей в исследовании эволюционно-катастрофического поведения системы. Применительно к рассматриваемым динамическим процессам в массивах горных пород можно, например, констатировать, что если математическую модель, описывающую механизм места возможного проявления динамического явления и его тип можно в принципе построить, то когда такое событие произойдет и будет ли оно вообще иметь место установить крайне сложно.

Рассмотренные явления волнового предвестника естественных и техногенных катастроф представляются крайне важными как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения. Разработав соответствующие технологии и выполняя мониторинг изменения полей упругих колебаний в ответственных регионах породных массивов (в том числе и в области разломов), можно предсказать начало динамических явлений большой интенсивности.

Заключение. В данной работе затронут, к сожалению, не весь круг актуальных вопросов и задач современной геомеханики применительно

к месторождениям калийных солей Беларуси. Ограниченные рамки статьи не позволяют остановиться, хотя бы реферативно, на всех современных направлениях научных исследований.

Перечень задач и проблем можно продолжить еще достаточно долго.

Следует подчеркнуть, что геомеханика содержит в себе задачи, требующие хорошего владения широким диапазоном знаний и умений из различных областей современной теоретической и прикладной механики, фундаментальной и прикладной математики, и целого ряда специальных дисциплин.

Литература

1. Шемякин Е.И. Об инвариантах напряженного и деформированного состояния в математических моделях сплошной среды // ДАН. 2000. Т. 373, №5. С.632-634

2. Опарин В.Н., Танайно А.С. Каноническая шкала иерархических представлений в горном породоведении. – Новосибирск: Наука, 2011.

3. Журавков М.А., Коновалов О.Л. К проблеме построения численных геомеханических моделей массивов горных пород со сложным структурным строением // коллективная монография «Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горнотехнических и природных системах». Том 2: Фундаментальные проблемы и новые методы контроля нелинейных геомеханических процессов в горнотехнических и природных системах / [В.Н. Опарин, В.В. Адушкин, А.А. Барях, М.А. Журавков и др.]; отв. ред. Н.Н. Мельников, Рос.акад. наук Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела [и др.] – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2019. С.253 – 297.

4. Журавков М.А. Техногенные динамические события в регионах крупномасштабного освоения подземного пространства. Ч.1 – 3 // Горная механика и машиностроение. №1 – 3. 2014.

5. Журавков М.А., Богдан С.И. Моделирование и прогноз катастрофических явлений в геомеханике. Д200219 от 13.02. Реферативный сборник непубликуемых работ БелИСА. Вып. 1 (24). 2002. 67с.

6. О возможных причинах увеличения сейсмической активности шахтных полей рудников «Октябрьский» и «Таймырский» Норильского месторождения в 2003 г. Ч.1 – 4 //ФТПРПИ. № 4 – 6. 2004; №1. 2005.

7. Линьков А.М. Об усилении сейсмических волн вблизи нарушений // ФТПРПИ. – 2001 – №3.