УДК 622.235

М.Г.МУСТАФИН
ОАО ВНИМИ, Санкт-Петербург, Россия

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ПРОЦЕССЕ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ С РАЗНОЙ СКОРОСТЬЮ

Рассмотрено влияние скорости и дискретности подвигания забоя на деформирование массива горных пород и земной поверхности, на характер сдвижения массива горных пород и форму их разрушения.

In work influence of speed and step-type behaviour movement face on deformation of a file of rocks and a terrestrial surface, on character movement a file of rocks and the form of their destruction is considered(examined).

Вопрос об учете скорости подвигания очистного забоя при решении широкого круга научно-практических задач геомеханики поднимался неоднократно [1-4, 6, 9]. Важность его решения понятна, так как при этом открываются новые возможности как для принятия мер по охране объектов от вредного влияния подработки, так и для разработки новых способов предупреждения динамических явлений. Особенно актуален этот вопрос в настоящее время, когда значительно возросли скорости ведения очистных работ, но нормативно-методическая база их регламентирования во многом не соответствует требованиям сегодняшнего дня.

В «Правилах охраны…» [10], основном нормативном документе по регламентированию условий выемки угля под застроенными территориями, в котором приведено обобщение масштабных долголетних исследований и наблюдений, скорость подвигания очистного забоя признана одним из основных факторов, влияющим на процесс деформирования массива горных пород и земной поверхности. Однако скорость (C) фигурирует лишь как параметр для определения общей продолжительности процесса сдвижения пород (T) и скоростей деформаций на земной поверхности, что свидетельствует о сложности полноценного учета этого фактора. Из установленной зависимости [10] следует, что, чем выше C, тем меньше T. Однако важно в этом процессе выделить и изучить нелинейную составляющую, так как упругая реакция массива возникает практически одновременно с изменением C.

При ведении очистных работ процесс деформирования и разрушения пород, начиная от выработанного пространства до земной поверхности, происходит за определенное время. Очевидно, что T зависит от глубины горных работ (H). С увеличением H запаздывание проявления сдвижения породного массива на земной поверхности (ΔT) будет расти. Существует безопасная глубина ведения горных работ ($H_б$ [10]), при которой для определенных объектов и вынимаемой мощности пласта (m) не возникает опасных деформаций земной поверхности. В такой же мере это относится и к мощности пласта. Весьма важными факторами в рассматриваемом процессе являются размеры очистной выработки: D_1 – длина забоя лавы; D_2 – длина лавы. Фактор H весьма сильно связан с физико-механическими свойствами вмещающих пород. Этим объясняется дифференциация показателей сдвижения горных пород по регионам и привлечение при их оценке для неизученных месторождений прочности пород [10]. Отмеченные факторы, включая физико-механические свойства, необходимо учитывать комплексно в расчетах при оценке

сдвижения массива горных пород, что на данный момент не сделано. Другие факторы, например конфигурация очистных выработок, последовательность их проведения и способы управления кровлей, заметно влияют на процесс сдвижения пород. В первую очередь следует установить связь между приведенными факторами.

Ориентировочную оценку нелинейной составляющей можно получить на основе следующих выкладок. В работе [4] для условий Донбасса проф. М.А.Иофисом составлена таблица, связывающая глубину разработки со скоростью подвигания очистного забоя и с общей продолжительностью процесса сдвижения пород. Если T нормировать по времени формирования условия полной подработки, которое возникает примерно, когда $H = D_2$ (D_1), то при $C = 30$ м/мес. и $H = 100$ м снижение пород по таблице составляет 5 мес. Следовательно, если вычесть время, затраченное на мгновенную реакцию массива до условия полной подработки массива, которое составляет 3,3 мес. (100 м/30 м/мес.), то потребовалось 1,7 мес. на завершение процесса деформирования с учетом реологических процессов. Проделав такие же вычисления для $C = 100$ м/мес. обнаружили, что на окончание процесса деформирования затрачен только 1 мес. Это свидельствует о том, что при малых скоростях разрушение пород происходит более полно и детально с образованием большего числа новых плоскостей сдвигов (разрушений) на всей площади подработки. Естественно, при этом необходимо больше времени на затухание процесса. Отмеченный эффект должен рельефней проявляться на больших глубинах. При $H = 1000$ м и $C = 30$ м/мес получаем на нелинейную составляющую деформирования пород уже почти один год (44 – 33 = 11 мес.). Но, если $C = 100$ м/мес., эта составляющая будет равна всего 3 мес., т.е. почти в 4 раза меньше. При высоких скоростях зоны разрушений все более концентрируются в определенных областях, где формируются глобальные плоскости сдвига (например, по границам выработанных пространств и в местах изгиба пород над выработанным пространством). Замечено, что с увеличением скорости увеличивается шаг обрушения кровли [5].

Очевидно, что при медленных скоростях подвигания очисного забоя процесс деформирования и сдвижения пород носит плавный характер. В массиве успевает реализоваться многостадийный процесс разрушения с плотной «упаковкой» разрушенных блоков. При этом блоки небольших размеров. Когда скорости относительно высоки, разрушенные блоки имеют большие размеры и, следовательно, возможны разрушения динамического характера.

Другим аспектом проблемы является неравномерность, дискретность подвигания очистного забоя, которая сильно изменяет характер сдвижения массива горных пород и форму их разрушения. При движении лавы формируется определенный шаг обрушения кровли, соразмерный скорости ее подвигания. Остановка лавы наиболее опасна перед посадкой кровли. В этом случае возникает эффект сложения динамической и статической опорных зон, что приводит к увеличению энергии разрушения. Если остановки лавы были опасны при скоростях около 50 м/мес., то ясно, какую большую опасность они представляют при скоростях 300 м/мес. и более. Следует заметить, что авария на шахте «Тайжина» произошла как раз во время остановки лавы.

Отсутствие глубокой научной проработки вопроса о влиянии скорости подвигания очистного забоя на деформирование и разрушение массива горных пород объясняется двумя обстоятельствами: 1) высокие скорости (например, в Кузбассе) стали возможны лишь в последнее время (10-15 лет), когда стали применять мощные механизированные комплексы, обеспечивающие нагрузки на очистной забой до 20 тыс.т в сутки и более; 2) количественное решение этого очень сложного вопроса требует использования весьма мощных средств исследования. Дело осложняется тем, что если ранее организация натурных исследований, которые являлись основой изучений, не вызывала больших проблем, то с переходом на так называемые рыночные отношения ос-

новная нагрузка ложится на теоретические исследования. Последние тесно связаны с компьютерными технологиями моделирования, которые появились лишь в настоящее время. При этом возможно не просто быстро решать задачи по расчетным схемам, но создавать различные модели и выполнять моделирование того или иного процесса, например, моделировать напряженно-деформированное состояние (НДС) массива горных пород (МГП). Причем системы или программные комплексы (ПК) могут вбирать в себя не только определенный расчет, но всю совокупность информации о моделируемом объекте, его визуализацию и манипулирование всеми его элементами и условиями, в которых он находится, а также наглядный просмотр самого процесса и результатов моделирования.

Во ВНИМИ разработан ПК «Недра» [7, 8], позволяющий моделировать НДС МГП в объемной постановке («Недра 3*D*» – объемная модель, «Недра 2*D*» – плоская) с учетом нелинейности процессов деформирования пород. ПК «Недра» используется для установления закономерностей сдвижения породного массива при разных скоростях ведения очистных работ.

Основу ПК «Недра» составляет алгоритм реализации метода конечных элементов (МКЭ). Алгоритм расчета НДС МГП с учетом его нелинейного поведения состоит в следующем.

Сначала для принятых упругих параметров массива пород решается упругая задача по МКЭ. Вычисленные напряжения по каждому элементу сравниваются с предельными для данной породы и при их превышении по методу упругих решений рассчитываются переменные параметры упругости для данного элемента, имитирующие степень разрушения рассматриваемой области. Далее процесс повторяется с новыми значениями параметров упругости. Завершается итерационный процесс в том случае, когда в каждом элементе прочность породы не будет нарушена.

Моделирование скорости подвигания очистного забоя и деформирования массива горных пород с учетом фактора времени с использованием ПК «Недра» разбивается на две связанные задачи: первая – это моделирование собственно подвигания очистного забоя и его скорости, вторая – моделирование деформирования массива горных пород с учетом их ползучести.

Первая задача решается двумя способами: с использованием переменных параметров упругости; непосредственным моделированием выработанного пространства. В первом случае отработка лавы (заходок) моделируется путем присвоения элементам, входящим в область угольного пласта и впоследствии вынимаемым, значений модуля упругости на три и более порядка меньшим, чем до выемки. При втором способе на каждой заходке переформировывается глобальная матрица жесткости системы с учетом рассчитанных напряжений и деформаций.

Вторая задача решается параллельно с первой и учитывает ползучесть пород в области влияния горных работ. С ползучестью пород связана длительная прочность пород [3, 11]. Получается, что при моделировании продолжительной нагрузки пород следует контролировать процесс по двум кривым: ползучести и длительной прочности. Для моделирования предполагается определение на основе обратных расчетов с использованием фактических данных о поведении пород (при отработке угольного пласта с разными скоростями) оригинальных параметров свойств массива, характеризующих этот процесс.

Приведенная методика исследований в настоящее время реализуется ВНИМИ применительно к условиям Кузбасса для разработки дополнений к нормативному документу [10] в части учета высоких скоростей ведения очистных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авершин С.Г.* Сдвижение горных пород при подземных разработках. М.: Углетехиздат, 1947.

2. *Батугин С.А.* Определение деформаций горных пород при движущемся очистном забое: Автореф. дис. … канд. техн. наук. СФ ВНИМИ. Прокопьевск, 1963.

3. *Баклашов И.В.* Деформирование и разрушение породных массивов. М.: Недра, 1988.

4. *Викторов С.Д.* Сдвижение и разрушение горных пород / С.Д.Викторов, М.А.Иофис, С.А.Гончаров / Под ред. К.Н.Трубецкого. М.: Наука, 2005.

5. *Вылегжанин В.Н.*Структурные модели горного массива в механизме геомеханических процессов / В.Н.Вылегжанин, П.В.Егоров, В.И.Мурашев. Новосибирск: Наука, 1990.

6. *Муллер Р.А.* Определение мульды сдвижения и скоростей деформаций земной поверхности при движущемся забое // Труды ВНИМИ. 1973. № 98.

7. *Мустафин М.Г.* Моделирование геомеханического состояния пород, вмещающих горную выработку / СПбГАСУ. СПб, 1999.

8. *Мустафин М.Г.* Об основных факторах, обуславливающих возникновение горных ударов с разрушением почвы выработок / М.Г.Мустафин, И.М.Петухов // Горный информ.-аналит. бюл. 2002. № 11.

9. *Петухов И.А.* Основные направления исследований сдвижения горных пород, охраны сооружений и природных объектов при разработке угольных месторождений // Труды ВНИМИ. 1976. № 100.

10. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. ВНИМИ. СПб, 1998.

11. *Ставрогин А.Н.* Экспериментальная физика и механика горных пород / А.Н.Ставрогин, Б.Г.Тарасов. СПб: Наука, 2001.