

УДК 622.834

НАЗИМКО І.В., канд. техн. наук УкрНІМІ НАН України, Донецьк

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПРОВЕРКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НЕОБРАТИМЫХ СДВИЖЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ЗОНЫ ПГД

Проведена проверка полученных закономерностей термодинамического анализа необратимых сдвижений в окрестности зоны повышенного горного давления моделированием при помощи эквивалентных материалов.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Как было показано ранее [1,2], имеет место принципиальная возможность существования необратимых потоков сдвижений, которые протекают с течением времени под действием градиента горного давления и случайных возмущений напряженного состояния массива горных пород в окрестности выемочного участка. Следует подчеркнуть, что полученные результаты не могут объясняться положениями теории ползучести. Эта теория применима лишь для сплошных сред, деформирующихся без разрушений, и не соответствует механизму необратимых перемещений массива, обладающего свойствами хрупкости и пластичности одновременно и испытывающего запредельные деформации, сопровождающиеся обрушением толщи, отжимом краевых частей пласта и т.п. Данные результаты получены на основе современной кинетической теории прочности твердых тел и термодинамики необратимых процессов. Одним из эффективных методов проверки таких результатов может быть физическое моделирование с помощью эквивалентных материалов.

Анализ исследований и публикаций. Общеизвестными преимуществами такого метода является наглядность результатов, и главное, возможность моделировать все основные процессы сдвижений горных пород, начиная с упругой стадии деформирования и закачивания пластическими, хрупкими деформациями и необратимым перемещением разрушенных блоков пород. Достаточно напомнить, что основные представления о сложном механизме сдвижений массива горных пород вокруг длинного очистного забоя получены именно с помощью физического моделирования. В натуральных условиях были подтверждены только отдельные параметры схемы сдвижений, поскольку трудоемкость натуральных экспериментов на порядки выше, чем физического моделирования.

Постановка задачи. Поскольку наиболее очевидным термодинамическим потоком, который возбуждается градиентом напряжений как термодинамической силой, является поток необратимых сдвижений, можно с уверенностью предположить, что процесс формирования зон ПГД при развитии очистных работ должен сопровождаться потоками необратимых сдвижений из области повышенного горного давления в зоны разгрузки. Количественная оценка таких потоков с помощью метода конечных элементов показала, что на границе зоны ПГД их величина составляет порядка 100 мм.

Изложение материала и результаты. Отсюда следует, что данные потоки необратимых сдвижений можно зарегистрировать с помощью физического моделирования. Для этого было выполнено моделирование процесса необратимых сдвижений у краевой части пласта на модели из эквивалентных материалов. В процессе эксперимента применялась известная методика физического моделирования, изложенная в монографиях [3-7]. Моделирование сдвижений в окрестности зоны ПГД осуществлялось на плоском стенде шириной 1680, высотой 1200 и толщиной 200 мм (рис. 1).

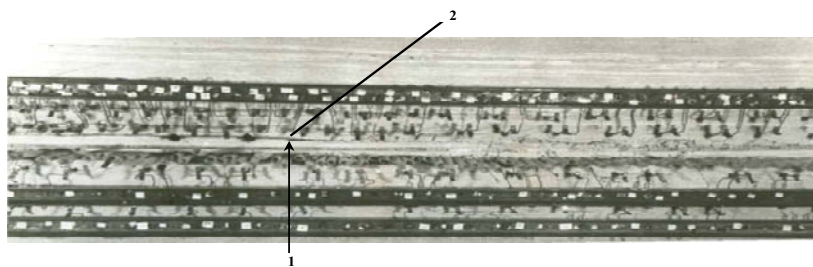


Рис. 1. Вид модели из эквивалентных материалов после испытания

Моделирование выполнялось в геометрическом масштабе 1:50. Для измерения сдвижений применялись зеркальные тензометры конструкции Зори Н.М. [4], позволяющих измерить смещения порядка десятых и даже сотых миллиметра. Таким образом, погрешность оценки смещений порядка 2 мм в модели (100 мм в натуре) не превышала 5-10 %, что вполне достаточно для регистрации необратимых потоков сдвижений.

Модель закатывалась из смеси песка, гипса, воды и талька в пропорции 97:2:1:1, что позволило моделировать физико-механические свойства осадочных пород песчано-глинистого состава. При этом гипс и вода дают возможность имитировать хрупкое разрушение горных пород, а тальк - отразить пластические деформации глинистых минеральных составляющих, значительный процент которых имеется в алевролитах и особенно в аргиллитах. После закатки модель пригружалась с помощью пневмобаллона, что дало возможность имитировать глубину разработки, близкую к 600 м.

Вынимаемая мощность пласта составляла 1 м. В непосредственной кровле залегал аргиллит мощностью 5м, выше расположен алевролит мощностью 10 м и далее располагался слой песчаника мощностью 20м. Выше закатывались слои однородного состава, отвечающего свойствам алевролита. В непосредственной почве располагался 3-метровый слой алевролита, ниже залегал песчаник. Модель в процессе испытаний фотографировали, однако как уже упоминалось, для повышения точности измерений необратимых сдвижений массива горных пород было установлено три ряда зеркальных тензометров (см. рис. 1). Два ряда расположено в непосредственной и основной кровле и один ряд в почве обрабатываемого пласта.

Для получения выраженного градиента горного давления в средней части модели формировался целик шириной 70 м путем двухсторонней отработки смежных лав. На рис. 1 позицией 1 указана правая граница целика. Линией 2 показана граница зоны полных сдвижений, угол наклона которой к плоскости напластования составляет примерно 68° , что удовлетворительно совпадает с известными величинами углов полных сдвижений. На модели видно, как вдоль указанной линии происходит прогиб подработанной толщи и ее последующее оседание над выработанным пространством в правой части модели.

Для ускорения эквивалентного времени моделирования в модели применяли известный прием возбуждения вибраций [4]. При этом к стенду прилагали вибрацию с частотой 50Гц и амплитудой 2 мм, что эквивалентно ускорению времени моделирования на два-три порядка. Такой прием позволил накапливать заметные необратимые сдвигения в течение нескольких часов и тем более суток. Кроме того, вибрации моделировали случайные возмущения массива горных пород. Ориентировочное время моделирования в пересчете на натуру составляло порядка 5-15 лет. Именно в течение такого периода оценивали величину необратимых сдвижений, которые накапливались под действием градиента давления в окрестности краевой части зоны ПГД и случайных возмущений напряженного состояния.

На рис. 2 приведены распределения необратимых сдвижений массива, которые накопились в окрестности границы зоны ПГД в течение 5 лет существования указанной зоны. Фрагменты *a* и *б* отражают распределения сдвижений в основной и непосредственной кровле соответственно на расстоянии от кровли обрабатываемого пласта 10 и 5 м. Фрагмент *в* показывает графики перемещений в непосредственной почве пласта на глубине 5 м от его подошвы. Положительный знак перемещений по оси *X* означает перемещение вправо на рис. 1, положительный знак перемещений по оси *Y* означает смещение вниз. Все величины сдвижений рассматриваются в терминах природы.

На рис. 2 видно, что спустя 5 лет после формирования зоны ПГД отмечается устойчивая тенденция смещений вдоль наслоения от целика в сторону выработанного пространства. При этом величины смещений в основной кровле составляют 20 мм, а в непосредственной кровле и почве достигают 40 мм. Максимум горизонтальных смещений приурочен к краевой части угольного целика или границе зоны ПГД. Породы кровли в основном испытывают дополнительное оседание во времени, а породы почвы незначительное поднятие, не превышающее 10 мм.

Спустя 15 лет тенденции смещений пород в окрестности краевой части целика сохраняются с той лишь разницей, что в основной кровле величины смещений стали больше (рис. 3).

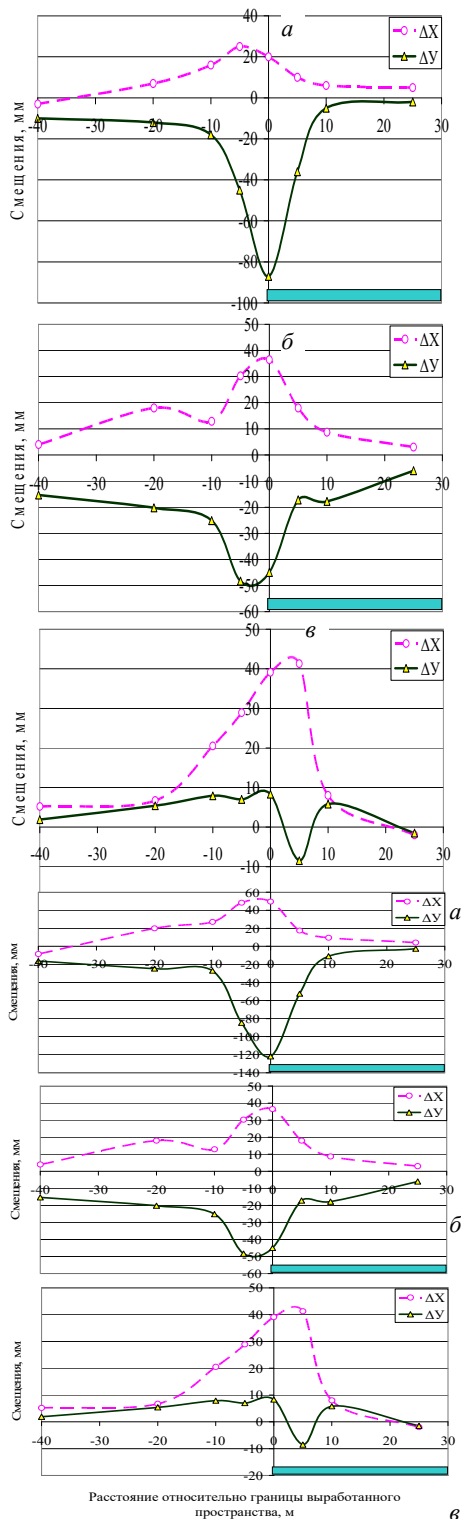


Рис. 2. Распределение дополнительных необратимых сдвижений массива в окрестности границы выработанного пространства через 5 лет после его формирования

На основании результатов измерения компонент необратимых смещений массива горных пород были вычислены векторные величины смещений, распределение которых представлено на рис. 4. Распределения полных величин необратимых сдвижений массива горных пород показывают, что максимум смещений приурочен к краевой части зоны ПГД, а наибольшая величина смещений через 5 лет достигает 95 мм, тогда как спустя 15 лет она превышает 135 мм.

Оценим возможное влияние найденных необратимых сдвижений массива горных пород на напряжения. С помощью глубинных реперов установлено [8], что в процессе надработки толщи одиночной разгрузочной лавой толща поднимается на 350 мм на глубине 900 м. Эти поднятия есть чисто упругие сдвигения, возникающие от снятия нагрузки с надрабатываемой толщи. Как видим, составляющая необратимых сдвижений массива горных пород сопоставима с упругой составляющей, значит первая может оказывать существенное влияние на изменение напряженного состояния массива горных пород во времени, что и было показано с помощью метода конечных элементов выше.

Рис. 3. Распределение дополнительных необратимых сдвижений массива в окрестности границы выработанного пространства через 15 лет после его формирования

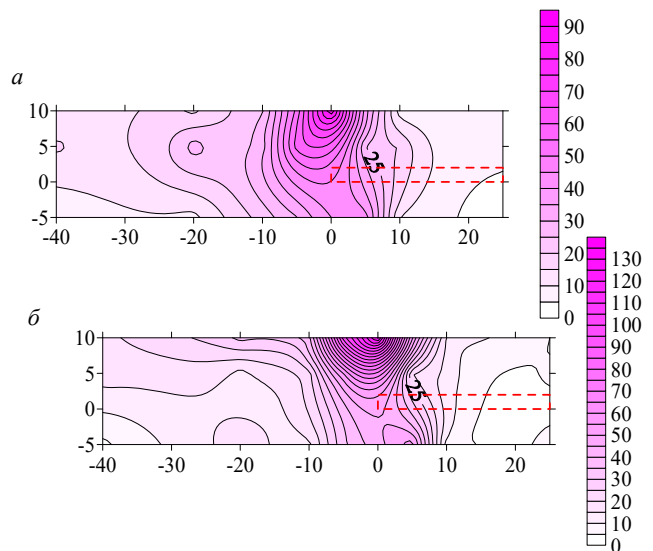


Рис. 4. Распределение полных дополнительных необратимых сдвижений массива у границы выработанного пространства спустя 5 (а) и 15 (б) лет после его образования

Выводы и направления последующих исследований. Установленные величины градиента горного давления в окрестности зоны ПГД выполняют роль термодинамических сил. Эти силы под влиянием случайных или закономерных возмущений напряженно-деформированного состояния массива горных пород порождают необратимые термодинамические потоки в виде дополнительных необратимых сдвижений, протекающих после формирования зоны ПГД и приводящие к росту энтропии массива горных пород с течением времени. Величина необратимых дополнительных потоков (сдвижений) массива горных пород составляет 90-140 мм, а их

максимум приурочен к границам зоны ПГД. Дальнейшими исследованиями подразумевается проверка полученных выводов путем экспериментального подтверждения на основе данных натуральных наблюдений.

Список литературы

1. **Ефремов И.А.** Исследование связи между горным давлением и сдвигениями массива горных пород / **И.А. Ефремов, И.В. Назимко** // Известия горного института. Донецк, ДонНТУ. 2010. - № 2 - 50-63.
2. **Назимко И.В.** Исследование механизма необратимых сдвижений пород вокруг выемочной выработки при разной интенсивности возмущения / **И.В. Назимко** // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. - Донецьк, №9, 2011, ч.1. – С. 343 – 357.
3. **Журков С.Н.** Кинетическая концепция прочности твердых тел / **С.Н. Журков** // Изв. АН СССР. Серия неорганич. материалы. -1067.-вып.3, №10.-С.1767-1771.
4. **Глушихин Ф.П.** Методические указания по рациональному планированию экспериментов для изучения проявления горного давления на моделях из эквивалентных материалов / **Ф.П. Глушихин, М.Ф. Шклярский, В.Н. Павлов.** Л., ВМИИ, 1980.- 65 с.
5. **Кузнецов Г.Н.** Моделирование проявлений горного давления / **Г.Н.Кузнецов, М.Н.Будько, В.И.Васильев** и др. - Л., Недра, 1968.- 279 с.
6. **Насонов И.Д.** Моделирование физических процессов в горном деле / **И.Д. Насонов, В.И. Ресин.** М.: изд. АГН, 1999.-334с.
7. **Филатов Н.А.** Методические указания по применению методов фотомеханики для исследования напряженно-деформированного состояния горных пород / **Н.А. Филатов, В.Д. Беляев, Г.А. Иевлев** и др.- Л., ВНИИИ, 1975.- 57 с.
8. **Филатов Н.А.** Фотоупругость в горной геомеханике / **Н.А. Филатов, В.Д. Беляков, Г.А. Иевлев.** М.: Недра, 1975.- 184 с.

Рукопись поступила в редакцию 23.01.12

УДК 622.7: 622.34.

Т.А. ОЛЕЙНИК, докт. техн. наук, проф., А.Ю. КРИВЕНКО, магистр,
ГВУЗ "Криворожский национальный университет"

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ЧАСТИЦ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПУЛЬПЫ В ПОТОКЕ ИСХОДНОГО ПИТАНИЯ ДЕШЛАМАТОРА

Представлены результаты исследований гидродинамики частиц твердой фазы железорудной пульпы поступающей из радиального устройства исходного питания в дешламатор. Разработана прогнозная математическая модель паметрического определения пространственного положения рудных и нерудных частиц, а также рудных сростков. Установлено что гидравлическая крупность частиц твердой фазы является преобладающим фактором формирования сгущенного продукта и хвостов обогащения при радиальном формировании потока исходного питания дешламатора.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами Широкое применение при обогащении железорудного сырья, нашли гидравлические гравитационные способы обогащения, в которых в качестве технологического оборудования применяются дешламаторы. Эффективность этих устройств обеспечивается за счет разделения компонентов твердой фазы пульпы по гидравлической крупности с учетом формируемых восходящих потоков.

Процесс обогащения в существующих конструкциях дешламаторов инициируется потоком исходного питания. В месте с тем, применяемый нисходящий порядок исходного питания ограничивает прирост качественных показателей песков дешламации, из-за совпадения вектора направления движения частиц твердой фазы с вектором направления гравитационной составляющей. Такой порядок формирования исходного потока предопределял неполный вынос мелких нерудных частиц из нижних слоев обогатительного аппарата, в виду повышения плотности среды, обусловленной соотношением жидкой и твердой фаз.

Анализ исследований и публикаций. Решение проблемы повышения качества обогащаемого продукта при гидравлическом гравитационном обогащении в основном было связано, с изменением конструкции самого обогатительного аппарата или изменения характеристик питающей пульпы (ее температуры, плотности, внесения флокулянтов и т.д.). Внимание же массопереносу внутри чана дешламатора, в частности движению частиц в питающем потоке пульпы, уделялось недостаточно [1,2].

Постановка задачи. Сепарационные характеристики дешламатора находятся в прямой за-