

В.П. Зубов, Е.Р. Ковальский, К.К. Вьет

ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ОТРАБОТКЕ КРУТОГО ПЛАСТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Предложен подход к оценке характера и степени влияния горно-добычных работ на состояние земной поверхности, основанный на методе конечных элементов. Показаны параметры модели, перечислены необходимые допущения при ее построении. Приведены некоторые результаты расчетов. Получена зависимость, увязывающая коэффициент усадки закладочного массива с величиной максимальных оседаний поверхности.

Ключевые слова: сдвигение, оседания, метод конечных элементов, коэффициент усадки, угольный пласт, система разработки.

Планируемый к извлечению мощный пласт крутого падения V9b(44b) залегает на месторождении Мао Хе (Вьетнам) под зоной гражданской застройки с расположенными в ее пределах ответственными объектами хозяйственного назначения.

Рекомендуемый вариант разработки пласта заключается в разделении его на этажи, выемке угля в пределах этажей наклонными слоями, а в пределах слоев – заходками, с последующим размещением в выработанном пространстве этажей сыпучей закладки. Этажи отрабатываются в нисходящем порядке, а слои в этажах – в восходящем.

Одной из задач, которые необходимо решить на данном этапе проекта, является оценка характера и степени влияния горно-добычных работ на состояние вмещающего массива горных пород (МГП) и земной поверхности с учетом особенностей залегания и способа разработки пласта V9b(44b).

Для решения поставленной задачи применен метод конечных элементов. Для этого разработана расчетная схема и соответствующая конечно-элементная модель (рис. 1 и 2). За основу модели взят геологический разрез по профилям разведочных скважин.

Модель представляет собой разрез пласта по падению с расположенными в его пределах этажами. В соответствии с этим, модель плоская, а задача решается в плоскодеформированной постановке. Выбор плоской модели обусловлен достаточно большой длиной этажа по простиранию, что позволяет рассматривать только одно его характерное сечение (т.к. все сечения по длине этажа равнозначны).

Размер модели 1380 м на 500 м. Такие размеры достаточны для исключения влияния границ на область непосредственного интереса (отрабатываемые этажи и часть МГП, вовлекаемая в процессы сдвигения). Модель разбита на треугольные элементы с 3 узлами в вершинах. Общее количество элементов 47470 шт., количество узлов 24157 шт.

Геометрические параметры элементов модели следующие. Угол падения пласта 66°, мощность 7 м. Размер целика у поверхности 50 м. Наклонная высота этажа 120 м. Ширина межэтажного целика 20 м. Характерные углы сдвигения в висячем боку – 65°, в лежащем – 50°. Размер пласта по падению 330 м. В пределах пласта по падению размещается два этажа.

Учет наличия характерных зон сдвижения в модели производится следующим образом. Принято, что при отработке этажей в лежащем и висячем боку пласта образуются условные плоскости сдвижения горных пород, моделируемые в расчетной схеме областями конечных размеров (см., например, линии *AB* и *CD* на рис. 1). В пределах данных областей прочностные и деформационные характеристики горных пород снижены по сравнению с интактным массивом. По совокупным рекомендациям СНиП, классификации ВНИМИ и данным других работ, коэффициент снижения прочности (коэффициент структурного ослабления) для таких зон принят в модели равным 0,1, а деформационные характеристики уменьшены на 2 порядка, что призвано отразить сильную трещиноватость и перемятость пород, а также физически обусловить интенсификацию процессов сдвижения именно в этих областях [1, 2].

Вмещающий МГП представлен переслаивающимися отложениями по-

род различной мощности. Характерные пачки пород составлены, в основном, слоями алевролитов, аргиллитов, песчаников и гравелитов. Лежачий и висячий бок пласта несогласно залегают на мощных отложениях гравелита и отделены от них тектоническим нарушением типа взброс (визуально – левая часть на разрезе, рис. 1).

В разработанной модели сделано допущение, что массив с одинаковыми по всему его разрезу средневзвешенными деформационными и прочностными характеристиками ведет себя так же, как массив со свойствами, дифференцированными по отдельным пачкам. Данное допущение в исследуемом случае правомерно, т.к. в пределах рассматриваемого разреза отсутствуют «выпадающие» из его строения элементы, например, ослабляющие прослои глины, или наоборот, слои пород, жесткость которых много выше средней. Основываясь на указанном допущении, рассчитаны средневзвешенные характеристики вмещающего массива (с учетом трещиноватости), которые составляют: мо-



Рис. 1. Эскиз расчетной схемы

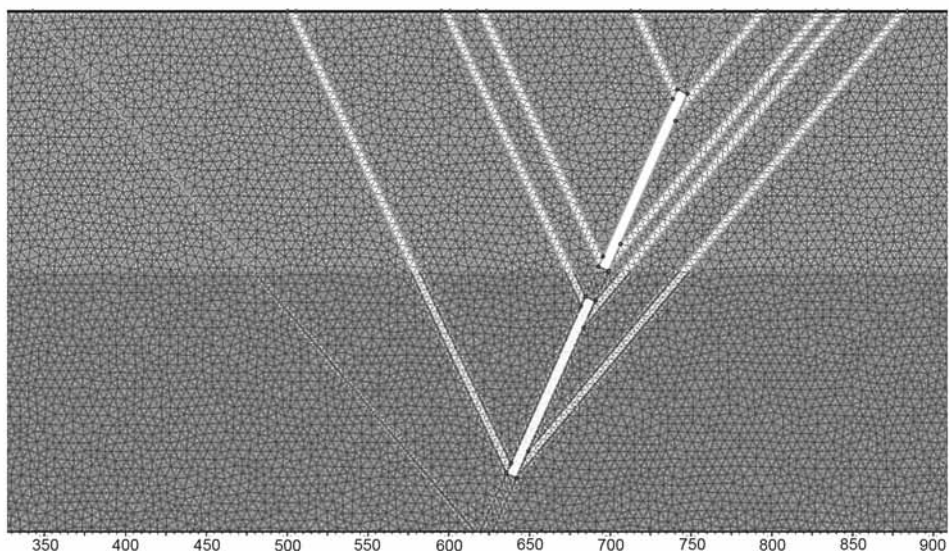


Рис. 2. Фрагмент конечно-элементной модели

доль Юнга $E = 9000$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; объемный вес $\gamma = 0,027$ МН/м³.

Закладочный массив моделируется как упругопластическая среда Хоека-Брауна [3], не имеющая предварительного напряженного состояния.

Анализ картины общих смещений элементов массива Δ показывает, что блок пород, ограниченный поверхностями сдвижения, перемеща-

ется практически как единое целое (рис. 3). МГП, лежащий за пределами зоны сдвижения, практически не затронут (с точки зрения порядка величин смещений) процессами смещения в результате выемки первого этажа.

Смещение мощного блока пород над выработанным пространством в виде единого «монолита» физически объясняется высокой прочностью (и, соответственно, – труднообрушае-

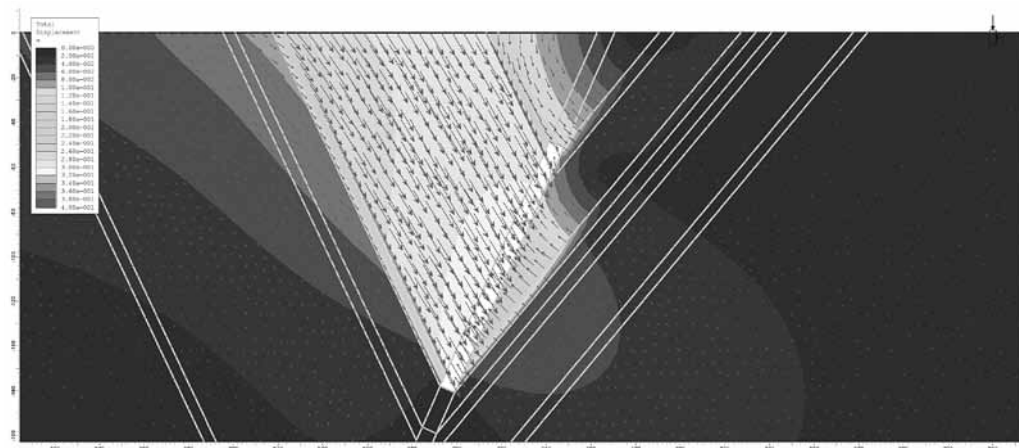


Рис. 3. Поле общих смещений Δ и вектора смещений МГП в окрестности отрабатываемого этажа

мостью) пород кровли отрабатываемого этажа. Блоки кровли, способные зависать на больших площадях, разрушаются не непосредственно над выработанным пространством (например, в центре пролета), а в результате пережатия в точках опоры у краевых частей массива (точки А и С на рис. 1), в итоге обрушаясь в выработанное пространство (или ложась на закладочный массив) как монолитная крупная плита. При таком механизме обрушения практически не происходит разрыхления обрушающихся пород. Соответственно, отсутствует подбучивание вышележащих слоев, и процесс сдвижения проявляется на поверхности в виде явно выраженных локализованных сдвигов (сбросов), а не плавных опусканий на больших площадях.

Данное предположение иллюстрируется рис. 4, на котором изображен график вертикальных смещений на уровне земной поверхности в случае отсутствия применения закладки на отрабатываемых этажах. Синяя линия – смещения поверхности после отработки первого этажа, красная линия – после отработки второго этажа. Черными вертикальными линиями показаны контуры проекции выработанных пространств этажей на земную поверхность. Из графика видно присутствие зон резкого изменения величины смещений, что соответствует наличию на поверхности сбросовых техногенных нарушений. Амплитуда сбросов при принятых параметрах модели составляет порядка 0,5–1,0 м, а максимальные оседания составляют около 2,45 м.



Рис. 4. Профиль вертикальных смещений δ_y земной поверхности в результате выемки пласта V9b(44b) без закладки выработанного пространства этажей

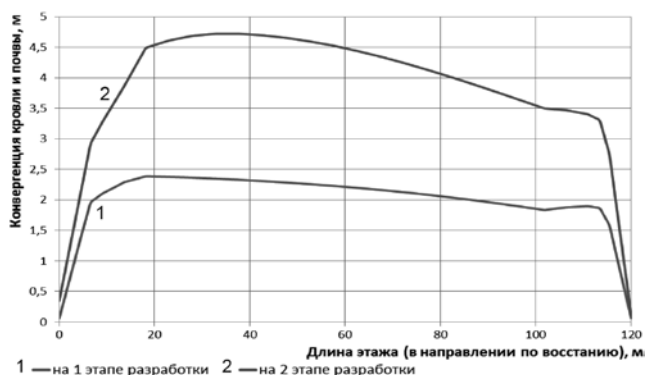


Рис. 5. График конвергенции кровли и почвы по высоте первого этажа без закладки выработанного пространства (модель № 1)

На рис. 5 представлен график конвергенции кровли и почвы первого этажа в направлении, перпендикулярном напластованию. Из графика видно, что основные смещения кровли и почвы ВП происходят на границах с краевыми частями пласта, т.е. в местах, где происходит «срез» плит кровли в результате их пережатия опорным давлением и сползание пород лежащего бока в сторону ВП по плоскостям сдвижения.

Увязывая графики на рис. 5, характеризующие процессы деформирования в окрестности пласта, с графиками на рис. 4, характеризующими состояние земной поверхности, можно осуществить оценку влияния параметров горных работ (в частности – коэф-

коэффициента усадки закладки и соответствующих ему значений конвергенции кровли-почвы в пределах отрабатываемого этажа) на земную поверхность.

В результате анализа ряда моделей с различными характеристиками закладочного массива получена простая линейная зависимость между усадкой закладочного массива и опусканиями поверхности

$$\delta_{у\max} = 3,7 \cdot k_{у\text{с}} - 0,06$$

где $\delta_{у\max}$ – максимальная величина оседаний поверхности, м; $k_{у\text{с}}$ – коэффициент усадки закладочного массива.

Значения оседаний, получаемые по данной зависимости, соответствуют результатам ранее выполненных маркшейдерских наблюдений на месторождениях-аналогах Вьетнама.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов Г.Н. Исследование предельных состояний хрупкого, ослабленного трещинами материала в различных условиях трехосного сжатия / Проблемы механики горных пород. – Новосибирск, 1971.

2. Руппенейт К.В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1975. – 223 с.

3. Хоек Е., Карранза-Торрес Ц.Т., Коркум Б. Критерий прочности Хоек-Брауна – редакция 2002 года / Труды пятого североамериканского симпозиума по механике горных пород. – 2002. – С. 267–273. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Зубов Владимир Павлович – доктор технических наук, профессор,
e-mail: spggi_zubov@mail.ru,

Ковальский Евгений Ростиславович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: e.r.kovalsky@gmail.com,

Као Куок Вьет – аспирант, e-mail: caoquocvietvkhm@gmail.com,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

UDC 622.83

FINITE-ELEMENT ANALYSIS OF STRATA MOVEMENT DUE TO MINING OF COAL SEAM

Zubov V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: spggi_zubov@mail.ru,

National Mineral Resource University «University of Mines», Saint-Petersburg, Russia,

Kovalsky E.R., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: e.r.kovalsky@gmail.com,

National Mineral Resource University «University of Mines», Saint-Petersburg, Russia,

Cao Quoc Viet, Graduate Student, e-mail: caoquocvietvkhm@gmail.com,

National Mineral Resource University «University of Mines», Saint-Petersburg, Russia.

Approach to estimation of influence of mining works on undermined ground surface based on finite-element analysis is proposed. Some model parameters are shown and necessary assumptions are described. Mathematical relationship between shrinkage ratio of filling mass and maximal subsidence of surface is obtained.

Key words: strata movement, subsidence, finite-element method, shrinkage ratio, coal seam, mining method.

REFERENCES

1. Kuznetsov G.N. *Problemy mekhaniki gornykh porod* (Problems of rock mechanics), Novosibirsk, 1971.

2. Ruppeneyt K.V. *Deformiruemost' massivov treshchinovatykh gornykh porod* (Deformability of jointed rock masses), Moscow, Nedra, 1975, 223 p.

3. Khoek E., Karrantza-Torres Ts.T., Korkum B. *Trudy pyatogo severoamerikanskogo simpoziuma po mekhanike gornykh porod* (Proceedings of the fifth North American rock mechanics symposium), 2002, pp. 267–273