

ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК В ОКРЕСТНОСТИ ЦЕЛИКА

к.т.н. Красько Н.И. (*Минтопэнерго Украины*), к.т.н. Захаров В.С. (*шахта «Южнодонбасская №3»*), к.т.н. Иванов И.Е. (*Донецкий национальный технический университет*)

Несмотря на внедрение крепей нового типа, сохранение устойчивости горных выработок остается весьма актуальной проблемой. Это касается как протяженных подготовительных выработок, так и длинных очистных забоев. Среди факторов, которые влияют на устойчивость обнажений, следует выделить напряженное состояние массива в окрестности выработки. Наличие повышенных напряжений как прямо, так и косвенно, через другие факторы влияет на устойчивость пород, а соответственно и обнажений (например, трещиноватость в породах увеличивается при увеличении значений напряжений). Существующие современные критерии, которые ориентированы на прогнозирование устойчивости выработок, одной из своих компонент включают значения напряжений в анализируемой точке [1-3]. Поэтому определение напряжений действующих в массиве является одной из главных задач в геомеханике при прогнозировании устойчивости выработок. Далее будем считать синонимами выражения устойчивость массива и устойчивость выработки, подразумевая, что в этом случае упоминается часть породного массива непосредственно примыкающая к породному обнажению в выработке.

Определение прогнозных значений напряженного состояния является весьма сложной задачей. К настоящему времени существует несколько расчетных методов, которые позволяют производить расчет напряжений при различных планировках очистных горных работ [4-6] и обладают достаточной точностью.

В работе [7] предлагаются понятия малой и большой геомеханических систем. Под первой предлагается понимать систему «крепь – окружающие породы», под второй – систему «породы зоны разгрузки – окружающий массив».

По предлагаемой классификации указанные в [4-6] методы определения напряженного состояния существуют в рамках большой геомеханической системы. Это означает, что в них производится расчет напряженного состояния в массиве только с учетом конфигурации выработанных пространств значительных размеров, например, от длинных очистных забоев.

Однако, в любой части массива со сложившимся напряженным состоянием проведение выработки обязательно приведет к его изменению. Так, например, в части массива, который попадет в бока выработки концентрация напряжений повысится, в кровлю – понизится. Значения вновь возникающих

концентраций напряжений будут, предположительно, сопоставимы со значениями концентраций до проведения выработки. Их недоучет будет приводить к снижению точности определения напряженного состояния, и, соответственно, дальнейшего прогноза устойчивости массива (выработки).

Таким образом, применение существующих к настоящему времени методик расчета напряженного состояния большой геомеханической системы не позволяет с качественной, а соответственно и количественной, точки зрения корректно учесть наличие в массиве горной выработки, несмотря на то, что с использованием данных методик производится попытка произвести оценку устойчивости этих выработок.

Напротив, существует второй класс программ для определения напряженного состояния массива, например метод конечных элементов [4], которые оперируют значительно меньшими размерами расчетной области, что позволяет рассчитать напряженное состояние в пределах малой геомеханической системы, или, другими словами, непосредственно вокруг выработки, в том числе с учетом параметров крещи. Однако при этом не учитывается наличие выработанных пространств

Следует отметить, что некоторые программы ([5], ANSYS) при расчете большой геомеханической системы, позволяют учитывать наличие подготовительных выработок и камер. Однако ввиду малой дискретизации расчетной области (большое расстояние между расчетными узлами) учет влияния малых размеров геомеханических конструкций не является достаточным.

Указанное противоречие можно разрешить двумя путями. Первый, это создание программ на основе существующих методик с увеличением дискретизации расчетной сетки (уменьшение расстояния между расчетными узлами). Данный путь сопряжен как с качественным, так и с количественным изменением методик расчета, что требует проведения дополнительных исследований по их настройке. Второй путь заключается в расчете напряженного состояния исследуемой части массива в два этапа. Первоначально производится определение параметров напряженного состояния большой геомеханической системы. Далее значения напряжений в интересующей нас области подставляются в качестве граничных условий для расчета напряженного состояния малой геомеханической системы. При отсутствии вблизи выработки горных работ, которые могут изменить напряженное состояние массива, в качестве граничных условий принимаются условия геостатического напряженного состояния.

Преимущества второго пути заключаются в том, что он может быть реализован на базе существующих уже достаточно апробированных методик расчета напряженного состояния массива.

Рассмотренный подход был использован для анализа разрушений в окрестности горных выработок при накате очистного забоя на угольный целик. Анализировалось напряженное состояние в горной выработке, расположенной в средней части целика и в очистном забое. Расчеты проводились для двух

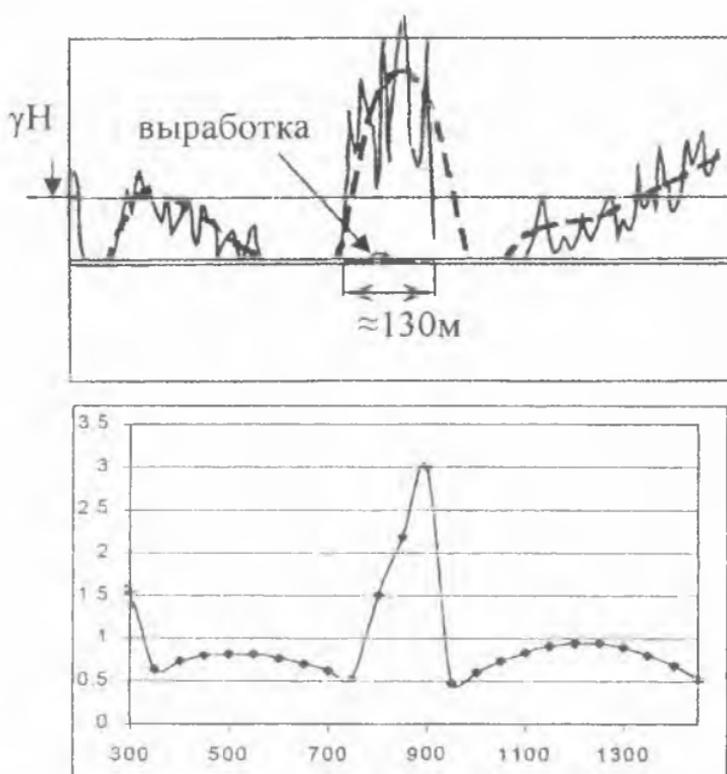
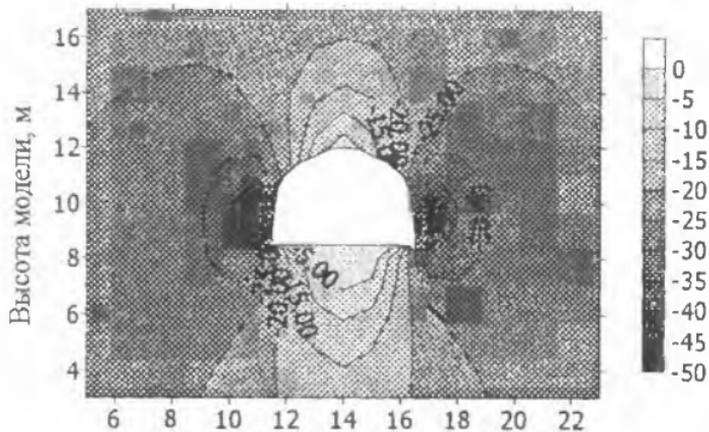


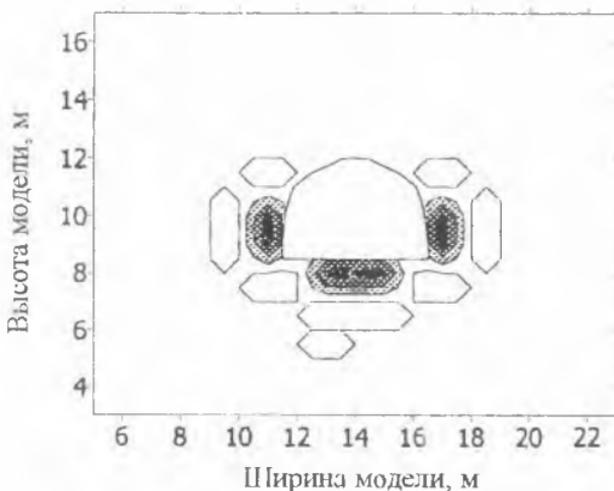
Рис. 1 Результаты определения вертикальной компоненты напряжений в случае отработки двух лав: а) при физическом моделировании, б) при математическом.

вариантов горнотехнической ситуации. Первый – ширина целика ≈ 500 м. Влияние лав на выработку не отмечается. В этом варианте зон разрушений в массиве вокруг выработки и впереди очистного забоя не отмечалось. Второй вариант горнотехнической ситуации – заключительная часть формирования целика, когда его ширина составила ≈ 130 м. Рассмотрим результаты анализа данного варианта подробнее.

Для рассмотрения большой геомеханической системы были привлечены данные физического моделирования напряженного состояния угольного целика [8]. Глубина моделирования составляла 300 м. На рис.1,а приведены данные замеров вертикальной компоненты напряжений в относительных единицах. Замеры выполнялись с помощью датчиков терния. Штриховой линией указано усредненное значение. Для повышения достоверности данная горнотехническая ситуация была рассчитана альтернативным математическим методом. Результаты данного расчета приведены на рис. 1,б. Можно видеть, что в обоих случаях значения концентраций вертикальной компоненты напряжений сопоставимы, разница достигает 10-15%. Так максимальные значения составляют в центральной части целика до 2,7-3, что эквивалентно



а)



б)

Рис. 2. Распределение вертикальной компоненты напряжений в МПа (а) и зон запредельных деформаций (б) вокруг выработки расположенной в угольном целике при анализе малой геомеханической системы.

напряжениям 20-23 МПа. В зоне разгрузки концентрации достигают 1,1 со стороны выработанного пространства, не имеющего дополнительной опоры, и 0,9-1 со стороны имеющей в качестве опоры часть угольного массива.

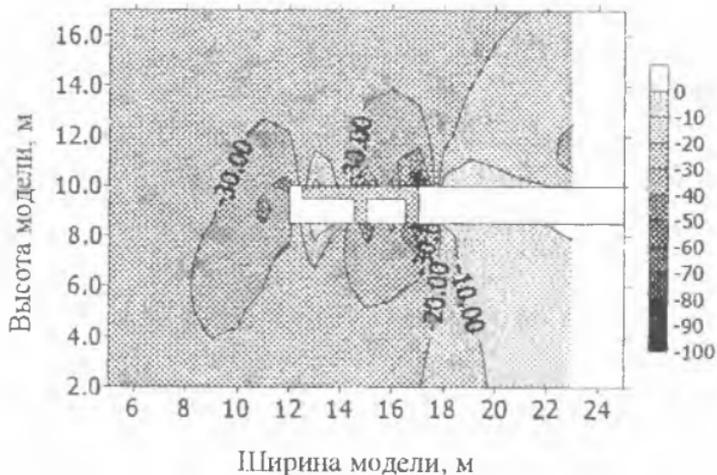
Таким образом, анализ большой геомеханической системы показывает, что под центральной частью угольного целика концентрации вертикальных напряжений достигают до 23 МПа. Данное значение можно принять как граничное условие для анализа малой геомеханической системы представленной выработкой, которая расположена в целике угля. Её

количественный анализ был выполнен на основе метода конечных элементов, представленного в [4]. Результаты в виде распределения вертикальных напряжений приведены на рис. 2,а. Можно видеть, что в верхней части модели вертикальные напряжения составляют ≈ 23 МПа, что соответствует приложенной нагрузке. Напряжения в кровле выработки имеют значения 1-10 МПа. В боках выработки до 49 МПа. Если учесть, что для глубины 300 м геостатические напряжения составляют $\approx 7,5$ МПа, то концентрация напряжений кровле выработки составит $\approx 0,15-1,3$ (разгрузка), а в боках выработки до 6 и более. Данное значение более чем в два раза больше значения, которое было получено при анализе большой геомеханической системы. Такое расхождение в значениях может существенно повлиять на прогноз устойчивости выработки. Применение двухстадийного анализа геомеханической ситуации позволяет избежать подобного рода ошибок. Кроме того, анализ малой геомеханической системы, позволяет также качественно более точно описать напряженное состояние вокруг выработки. В частности можно выделить локальные зоны повышенных концентраций напряжений и разгрузки в массиве.

Следует отметить, что уже на расстоянии 3 м в бок от контура выработки концентрация напряжений составила всего 3,7, и уменьшалась до значения $\approx 3,2$ на контуре модели. Иными словами зона повышенных концентраций была ограничена по ширине. Именно незначительность размеров не позволяет достаточно надежно выделить зону при анализе большой геомеханической системы.

На рис. 2,б показано распределение зон запредельных деформаций в окрестности рассматриваемой выработки (выделены темным цветом). Они получены на основании действующих компонент напряжений по теории Кулона-Мора. Можно видеть, что разрушения отмечаются в боках выработки. Здесь их причиной являются повышенные вертикальные напряжения. В почве выработки, наоборот, разрушения спровоцированы растягивающими напряжениями и отсутствием крепи. Их наличие в реальных условиях может быть сопоставлено с пучением почвы.

Аналогичные расчеты напряженного состояния для очистного забоя (рис. 3,а) показывают, что в кровле пласта непосредственно впереди забоя имеют место повышенные напряжения, достигающие 43 МПа, что существенно больше прочности пород. Это соответствует концентрациям 5-5,7 относительно уровня нетронутого массива для заданной глубины. Непосредственно над козырьком крепи и в почве между забоем и передней стойкой отмечаются зоны разгрузки, в которых значения напряжений составляют ≈ 7 МПа. Повышенные концентрации вертикальных напряжений отмечаются также над задней стойкой крепи. Здесь их значение достигает 77 МПа. Таким образом, в направлении от забоя в сторону завала вдоль крепи имеют место существенные перепады напряжений, когда значения изменяют до 10 раз. Данные качественные особенности напряженного состояния массива в окрестности очистной выработки невозможно установить при анализе большой геомеханической системы.



а)



Рис. 3. Распределение вертикальной компоненты напряжений в МПа (а) и зон запредельных деформаций (б) вокруг очистной выработки расположенной у края угольного целика при анализе малой геомеханической системы.

На рис. 3,б показаны зоны запредельных деформаций в окрестности очистного забоя. Можно видеть, что максимальные разрушения отмечаются позади механизированной крепи. Они соответствуют обрушению основной кровли и симметричному ей процессу пучения почвы. В пределах укрепленной зоны запредельное состояние пород достигается в кровле пласта между забоем и перекрытием и над передней частью перекрытия крепи. В почве пласта разрушение пород отмечается между забоем и передней стойкой крепи. Наличие зон запредельных деформаций в кровле пласта с большой

вероятностью приведет к обрушению пород, что в свою очередь может стать причиной остановки очистного забоя.

Таким образом, использование понятий большой и малой геомеханических систем, позволяет корректно производить расчет напряженного состояния массива для прогнозирования устойчивости горных выработок за счет выделения на базе анализа большой системы граничных условий для детального анализа малой геомеханической системы. Детальный анализ малых геомеханических систем при формировании угольного целика показал следующее. При ширине целика 130 м отмечается повышение концентраций напряжений в угольном целике, который формируется накатывающейся на него лавой до значений 2,7-3. В окрестности выработки расположенной в центральной части угольного целика концентрации вертикальных напряжений достигают значений 6. На контуре выработки образуются зоны неупругих деформаций, которые приведут к снижению ее устойчивости. Впереди накатывающейся на целик лавы концентрации вертикальных напряжений достигают 5,7. При этом в окружающем массиве образуются зоны запредельных деформаций, которые могут являться причиной обрушений пород и их пучения. В направлении от очистного забоя до зоны обрушения пород имеет место изменение напряженного состояния в породах кровли пласта. При этом изменение концентрации вертикальных напряжений может достигать 10 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчёты параметров крепи выработок глубоких шахт /Заславский Ю.З., Зорин А.Н., Черняк И.Л. – К.: Техника, 1972. – 156 с.
2. Грядущий Ю.Б. Геомеханические основы управления вывалоопасными кровлями в очистных забоях. Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.15.02. -Макеевка, 1997. – 215 с.
3. Иванов И.Е. Совершенствование метода прогнозирования зон обрушений пород непосредственной кровли в очистных забоях тонких пологих пластов: Дисс. канд. Техн. наук: 05.15.11. – Донецк, 2000. – 163 с.
4. Назимко В.В. Геомеханические основы устойчивости подготавливающих выработок в зонах разгрузки при воздействии очистных работ: Дисс... д-ра техн. наук: 05.15.02., 05.15.11. Донецк, 1989. – 337 с.
5. Sinha K.P. Displacement discontinuity technique for analyzing stresses and displacements due to mining in seam deposits. A thesis submitted to the faculty of the school of the University of Minnesota. // In partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. Minnesota, March 1979, 311 pp.
6. Сабынин А.В., Грищенко Н.Н., Мирумян А.Г. Дифференцированная оценка зон опорного давления // Проблемы горного давления – Донецк: ДонГТУ. – 2001 – №6. – С. 83-92.

- 7 Зборщик М.П. Разработка технологий управления вмещающим массивом и устойчивостью основных подготовительных выработок пологих пластов на больших глубинах: Дисс... д-ра техн. наук: 05.15.02. -Донецк, -1983. – 445 с.
- 8 Захаров В.С., Еремин А.Т., Иванов И.Е., Кузяра С.В. Влияние размеров угольного целика на предотвращение объединения зон сдвижений над выработанными пространствами // Геотехническая механика – Днепрпетровск: ИГТМ. – 2001. – №25. – С. 88-92.