© В.А. Дмитриенко, Т.В. Дмитриенко, 2006

УДК 622. 253. 3

В.А. Дмитриенко, Т.В. Дмитриенко

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА "ЛИРА-WINDOWS" ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Семинар № 11

Определение наиболее выгодного угла сопряжений горных выработок в зависимости от размеров и формы поперечного сечения выработок, характеристик пород, наличия угольного пласта в почве или кровле сопряжений, напластования пород, глубины выработок от поверхности земли является сложной исследовательской задачей.

В последние годы благодаря совершенствованию физическое моделирование осуществляется уже на уровне многофакторных прогнозных комплексных исследований. Они позволяют выявить новые закономерности деформирования массива и прогнозировать возможные явления при изменении основных влияющих факторов в широком диапазоне их значений.

Однако физическое моделирование в лабораторных условиях требует больших затрат времени, труда и финансовых средств. Кроме этого, оно имеет серьезный недостаток, такой как погрешность моделирования из-за трудности подбора эквивалентных материалов. Развитие же программирования и компьютерных технологий в настоящее время позволяет моделировать сложные пространственные модели и производить их расчет с большой точностью, в короткие сроки и с минимальными затратами труда. Примером тому может служить программный комплекс "Лира-Windows" версии 8.0, в основе которого лежит метод конечных элементов, позволяющий рассчитывать железобетонные, металлические и другие строительные конструкции. Однако для моделирования пространственных геомеханических систем он практически не применялся. Поэтому в ШИ(ф) ЮРГТУ проведены исследования по отработке методов моделирования массива пород с размещением в нем сопряжения горных выработок.

Принципы составления модели следующие. Так как влияние основных факторов невозможно учесть при моделировании сопряжения выработок в плоской модели, то для получения напряжений в конечных элементах модели и перемещений в точках соединения конечных элементов было решено создать более сложную объемную модель массива пород. Учитывая то, что выработки различных размеров и формы поперечного сечения могут пересекаться под различными углами, применялись следующие виды конечных элементов: КЭ-31 – универсальный пространственный КЭ в форме параллелепипеда; КЭ-33 – пространственный КЭ в форме трехгранной призмы; КЭ-36 – пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ.

Данные КЭ предназначены для определения напряженно-деформирован-ного состояния массивных пространственных конструкций из однородного, изотропного, трансверсально-изотроп-ного линейно-

упругого материала в постановке трехмерной задачи теории упругости. В каждом из узлов конечных элементов имеются по три степени свободы, представляющие собой линейные перемещения вдоль осей, положительные направления которых совпадают с направлениями соответствующих осей.

Размеры модели определялись согласно выражения

$$X_{\max} = \frac{X}{0.2 \div 0.4},$$

где X_{max} – максимальное удаление контура модели от контура выработки, м; X – максимальный пролет моделируемой выработки, м.

Причем для уменьшения объема задачи на расстоянии $X'_{\max} = \frac{X}{0.4 \div 0.8}$ от контура выработки использовались конечные элементы размером 1×1×1 м, а на расстоянии от X'_{max} до X_{max} применяются конечные элементы большего размера 1×2×1 м, 2×2×1 м и 2×2×2 м. При этом учитывался тот факт, что размеры конечных элементов влияют на точность аппроксимации функции и точность получаемых результатов.

Требование рассмотрения напряжений в массиве пород на расстоянии пятикратного наибольшего размера рассматриваемой выработки от ее контура принималось во всех направлениях, кроме почвы, так как целью расчета это не было предусмотрено.

Пройденная выработка создавалась с помощью КЭ 200 (пустой элемент), применяющийся для удаления элементов из расчетной схемы без нарушения регулярности ее кодирования.

В созданном массиве характеристики пород задавались путем назначения конечным элементам жесткости. Возможно два варианта задания жесткостных характеристик:

а) без использования служебной информации, когда задается изотропный материал. В этом случае задается модуль упругости пород, коэффициент Пуассона и их объемный вес.

б) с использованием служебной информации (идентификаторов), когда задаются ортотропные трансверсально-изотропные свойства материала.

Для воспроизведения больших глубин применялось приложение нагрузки на КЭ на пятикратном расстоянии от кровли сопряжения и во все стороны от боков сопряжения. Причем давление принимается из расчета:

вертикальное – $H_в = \gamma H$,

боковое – $H_г = A\gamma H$,

где A – коэффициент бокового распора; γ – бъемный вес пород кровли сопряжений, Н/м; H –глубина расположения сопряжения от поверхности земли, м.

Чтобы придать схеме геометрическую устойчивость в пяти метрах вниз от сопряжения в стыковочных узлах КЭ накладываются связи по направлениям X, У, Z. Программа «Лира-Windows» – 8.0 позволяет изменять в широких пределах задаваемые характеристики пород и нагрузки на КЭ.

В результате расчета вычисляются перемещения узлов КЭ в общей системе координат, усилия в центральной точке (центр тяжести) элементов в местной системе координат и узловые реакции в местной системе координат.

При моделировании сопряжений горных выработок размером более 5×3 м, требуются соответственно и модели больших размеров, в ходе расчета которых необходим большой объем памяти и быстродействие компьютера. Поэтому в этих случаях целесообразно применить метод суперэлементов.

При использовании суперэлементной модели основная схема разделяется на несколько расчетных, которые называются схемами суперэлементов и формируются в отдельных файлах (рис. 1). Основная же схема представляется узлами стыковки суперэлементов (суперузлами). Так как взаимодействие суперэлементов в основ-

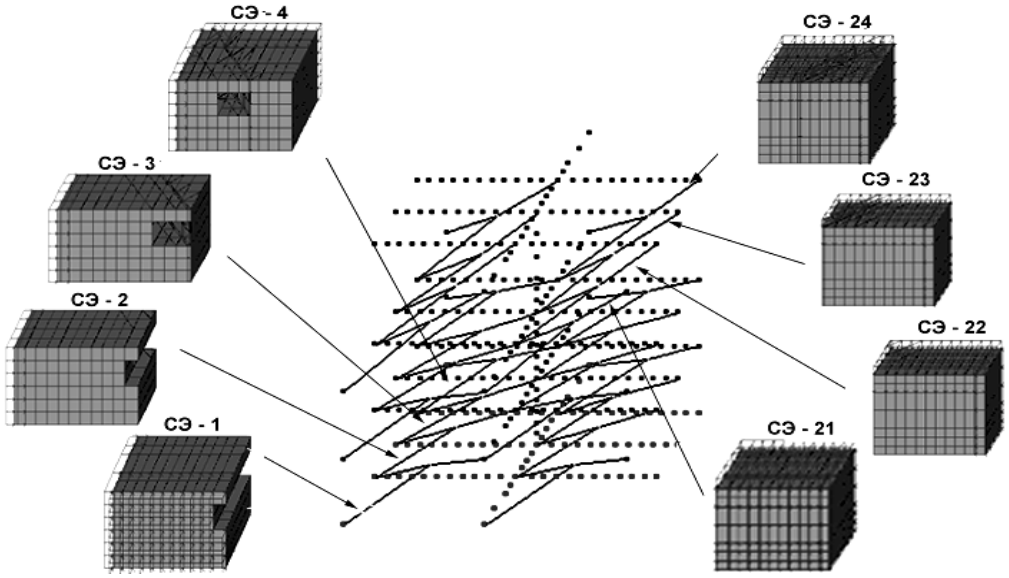

Рис. 1. Модель массива с суперэлементами в свернутом виде

ной схеме осуществляется только через суперузлы и количество этих узлов в одном суперэлементе ограничено, рациональным размером суперэлементов является 10×5×5 конечных элементов.

Применение метода суперэлементов хотя и является более трудоемким, но позволяет решать сложные задачи с меньшими затратами времени на проведение расчета экономно используя доступную память компьютера.

«Лира-Windows» 8.0 позволяют получать цветное представление результатов расчета в удобном для пользователя виде.

Результаты расчета одной из моделей представляющей собой разветвление двух выработок под углом 90^{o} показаны на рис. 2-5. Характер распределения напряжений и перемещений совпадает с общепринятыми теоретическими положениями, однако, следует отметить, что численные значения напряжений возникающих в массиве пород отличаются от аналогичных рассчитанных с применением плоских моделей. То есть объемное моделирование позволяет получить более полную и достоверную картину напряженно–деформированного состояния массива пород с учетом большого количества факторов.

Таким образом результаты расчета позволяют сделать вывод о правильности составления модели и о возможности использования программного комплекса «Лира-Windows» для моделирования сложных геомеханических систем.

Подбор оптимальных параметров крепи сопряжений горных выработок с использованием ПК «Лира-Windows» можно осуществлять двумя способами.

Производить расчет и подбор крепи можно по напряжениям и перемещениям в массиве горных пород на контуре выработки, получаемых после расчета исходной модели, обычными способами механики подземных сооружений. Этот способ весьма трудоемкий и требует использования других прикладных программ.

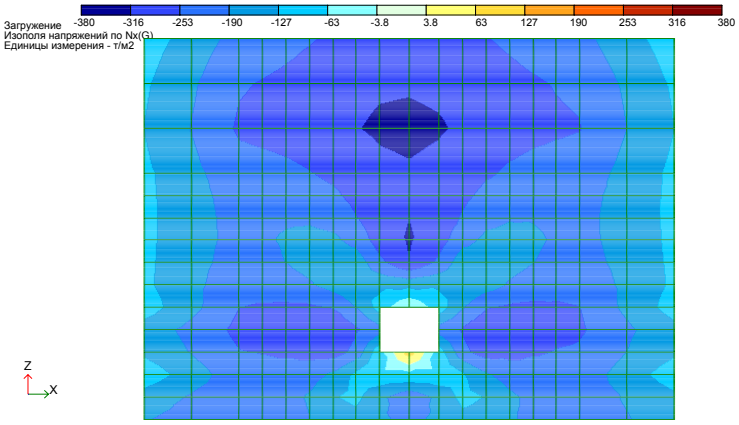

Рис. 2. Изополя напряжений по оси X

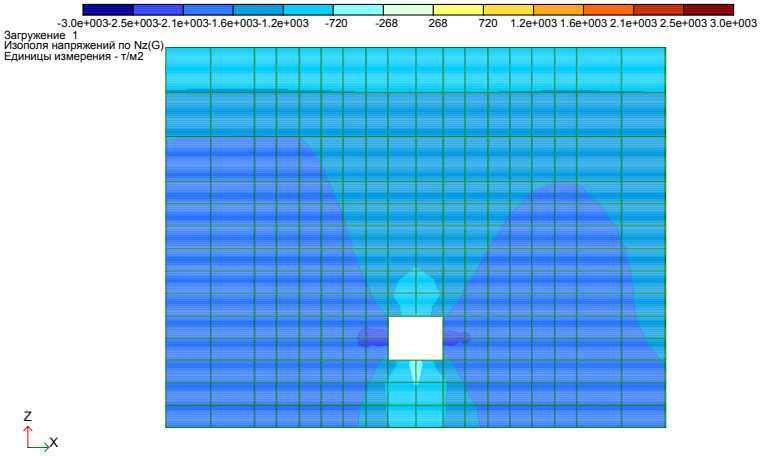

Рис. 3. Изополя напряжений по оси У

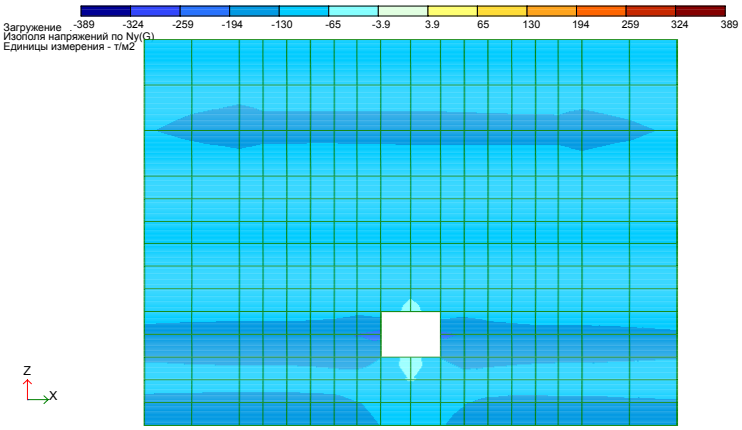

Рис. 4. Изополя напряжений по оси Z

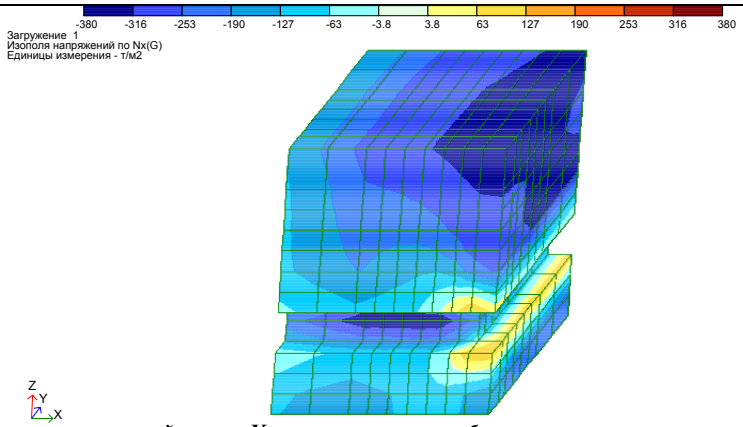

Рис. 5. Изополя напряжений по оси X в сопряжении выработок

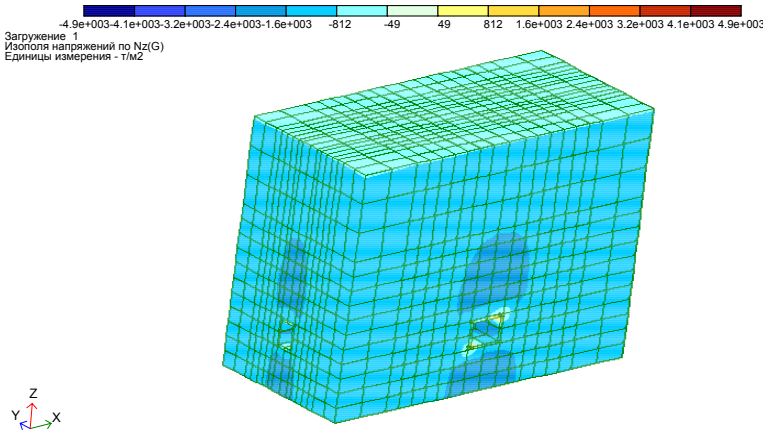

Рис. 6. Распределение напряжений по оси Z в массиве пород и бетонной крепи

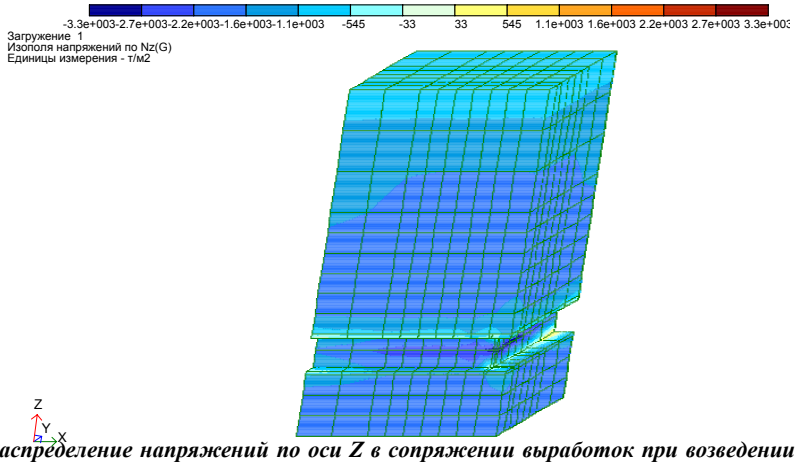

Рис. 7. Распределение напряжений по оси Z в сопряжении выработок при возведении монолитной бетонной крепи

Другой способ заключается в расчете и подборе крепи с использованием системы постпроцессоров проектирования конструкций, позволяющих в автоматическом режиме проверить элементы произвольного сечения.

Как изменились значения и поля распределения напряжений и перемещений при возведении монолитной бетонной крепи толщиной 0,15 м в выработках и их сопряжении показывают рис. 6-7.

Как видно из представленных на рисунках результатов расчета одной из моделей, ПК «Лира-Windows» позволяет без существенных материальных затрат и с меньшими затратами времени произвести решение сложной геомеханической задачи. Причем никакими другими ранее использовавшимися физическими методами моделирования невозможно было получить столь наглядных результатов. Кроме того осуществлять подбор крепи таким простым способом ранее также было невозможно.

Коротко об авторах

Дмитриенко В.А. – кандидат технических наук, доцент,
Дмитриенко Т.В. – кандидат технических наук, доцент,
кафедра «Строительство подземных сооружений и шахт» ШИ (ф) ЮРГТУ (НПИ).

© Ю.Г. Феклистов, В.В. Потапов, 2006

УДК 621.928.

Ю.Г. Феклистов, В.В. Потапов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ УГЛЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ ПО ФРИКЦИОННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Семинар № 11

Ухудшение качества добываемых углей, их разубоживание, связано как с природными свойствами, так и технологиями ведения разработок угольных пластов. Это в равной мере относится к подземному и открытому способу добычи [1, 2].

Работы по улучшению качества угля и снижению его потерь, уменьшение количества выдаваемой на поверхность породы ведутся в направлении изыскания более совершенной технологии ведения работ, применения процессов обогащения горной массы под землей и оставления пустых пород в шахтах.

В мировой практике угледобычи накоплен определенный опыт подземного обо-

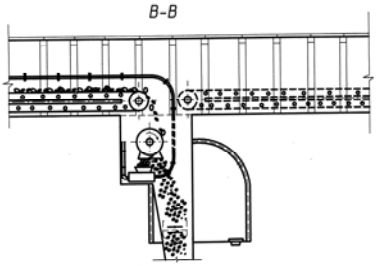

Рис. 1. Установка сепаратора БПФС

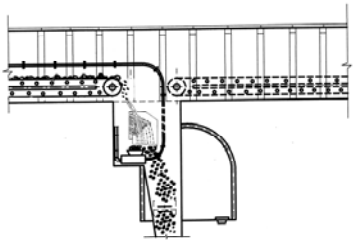

Рис. 2. Установка сепаратора СПРУТ в технологической цепочке в технологической цепочке

гащения угля с оставлением пород в шахте.

Размещение породы в шахте с выкладкой ее в охранные бутовые и закладочные массивы обеспечит полноту выемки запасов угля, сгладит неравномерности проявления горного давления в очистном забое и на его сопряжениях, при этом достигается экономия за счет снижения затрат на выдачу породы, и снижения зольности добываемого угля. Кроме этого, закладка выработанных пространств породой позволяет ликвидировать пустоты, тем самым препятствовать накоплению и концентрации метана в слабопроветриваемых участках шахт [1].

Управлением качеством углей возможно при использовании схем подземного обогащения угля и увязки обогатительных процессов с процессами непосредственного горного производства.

Решению данной проблемы могут способствовать проведенные нами исследования по разделению углей на барабанно-полочном фрикционном сепараторе [БПФС] и сепараторе для разделения сыпучих материалов по трению и упругости СПРУТ рис. 1 и рис. 2.

В данных сепараторах в основе разделения используются различия во фрикционных и упругих свойствах углесодержащих формаций.

Разделение высокозольных углей класса -50+0 мм данными сепараторами позволило выделить 42 % низкозольного и 53 % высокозольного угля с массовой долей золы соответственно 12,5 % и 52,8 % - БПФС, а использование СПРУТ позволило получить 34,6 % низкозольного угля и 64,5 % высокозольного угля с массовой долей золы соответственно 9,52 % и 54,23 %.

Полученный высокозольный продукт можно использовать в качестве закладочного материала. Результаты исследований

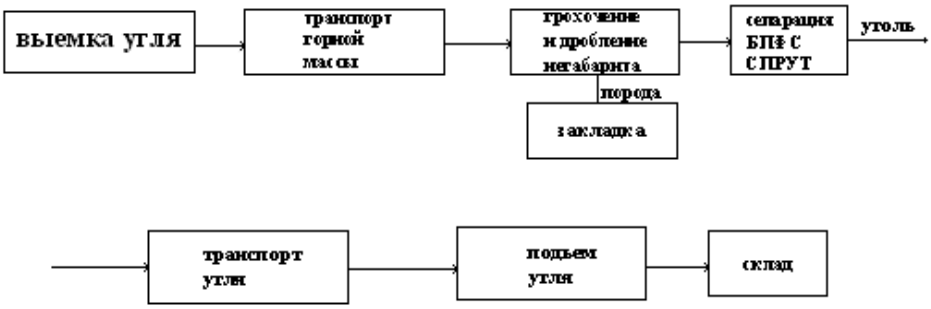

Рис. 3. Схема одностадиального обогащения на участковом обогатительном пункте

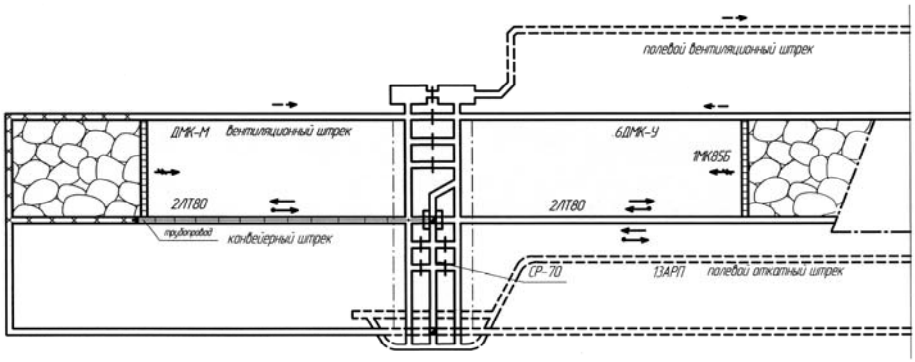

Рис. 4. Схема ведения работ с установкой узла предварительного обогащения

показали, что размещение этих сепараторов в выработках позволит управлять качеством не посредственно под землей (рис. 1, рис. 2).

Технологическая схема (рис. 3) представляет собой одностадийное обогащение на участковом стационарном обогатительном пункте (рис. 4).

Расположение обогатительных пунктов рассматривается в каждом случае в соответствии с конкретной технологической схемой шахты. Однако все схемы имеют некоторые типичные для них узлы, такие, как схемы околоствольных дворов, схемы вскрытия шахтных полей, схемы подготовки шахтных полей. Очевидно, что стационарные обогатительные пункты должны быть расположены в местах, куда поступает уголь если не со всех, то с большинства участков, и где схема транспорта остается неизменной в течение всего срока службы шахты [1, 2].

В нашем случае, при этажной схеме подготовки шахтного поля пункт располагается в близи верхней приемной площадки и конвейерного бремсберга, где в камере установлена аппаратура обогащения (БПФС, СПРУТ).

После процесса разделения низкозольный уголь транспортируется по гезенку в дозатор и ссыпается в вагонетки. Высокозольный уголь (порода) поступает в пневмозакладочную машину и далее с помощью сжатого воздуха транспортируется в выработанное пространство лавы.

Использование в технологических схемах разных типов сепараторов продиктовано качеством производительностью поступающего на обогащение угля, а также эксплутационными затратами.

Результаты исследований по разделению угля позволяют рекомендовать данный метод для управления качеством углей в подземных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пацук В.Е.* Обоснование параметров технологических схем шахт с подземным обогащением угля // Автореферат дис. канд. техн наук - М.:МГГУ, 1994-.24с.

2. *Демин В.Ф.* Создание технологии эффективной выемки маломощных и сложноструктурных пластов с использованием шахтной породы // Автореферат дис. док. техн. наук - К.: КарГТУ, 2004 -37с.

Коротко об авторах

Феклистов Ю.Г. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой разработки пластовых месторождений,
Потапов В.В. – аспирант, ассистент кафедры разработки пластовых месторождений,
Уральский государственный горный университет.