

8. Домрачев А.Н., Криволапов В.Г. Выбор и обоснование параметров комбинированной технологии при различных способах развития шахтного фонда. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2011. – 209 с.
9. Домрачев А.Н., Риб С.В. Сравнительная оценка аналитического расчета и результатов имитационного моделирования нагрузки на длинный комплексно-механизированный очистной забой // Вестник СибГИУ. 2016. № 2 (16). С. 8 – 11.
10. Домрачев А.Н. Технология и механизация отработки пологих пластов. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016. – 73 с.
11. Гудман Д., Моррисон М. JavaScript. Библия пользователя / Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1184 с.

© 2016 г. С.В. Риб, А.М. Никитина

В.И. Любогощев

Поступила 29 ноября 2016 г.

УДК 622.831

Д.А. Киселёв

Сибирский государственный индустриальный университет

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ ПЛАСТОВ

На современном уровне интенсификации горных работ в массиве при неравномерном подвигании очистного забоя протекают различные геомеханические и газодинамические процессы, которые оказывают существенное влияние на газовую обстановку выемочного участка угольной шахты. В результате воздействия горного давления на породы кровли и почвы пласта эти процессы часто приводят к опасным явлениям (горные удары, обрушения, внезапные выбросы и т.д.) [1]. При зависании пород кровли в куполах зоны обрушения могут скапливаться достаточно большие объемы газовой смеси. В дальнейшем при изменении напряженно-деформированного состояния массива скопившийся газ может выдавливаться в призабойное пространство с максимальной интенсивностью. Зачастую такие инциденты приводят к загазированию действующих выработок, остановкам добычного оборудования и т.д.

Для профилактики возникновения аварийных ситуаций и, следовательно, повышения безопасности горных работ на высокогазоносных пластах актуальной задачей является прогноз геомеханической и газодинамической обстановки при ведении очистных работ. На рис. 1 приведена блок-схема выполнения исследований.

Для получения достаточно адекватных результатов при определении параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород на выемочном участке широкое применение нашел метод численного моделирования. В практике численного моделирования используются следующие отечественные и зарубежные программные комплексы (распространяются как на условиях проприетарных лицензий, так и по лицензиям свободного программного обеспечения) [2 – 6]: Геомеханика, FLAC 2D и FLAC 3D, Map3D Mine Modelling, ANSYS, SolidWorks, Z88Aurora, Elmer FEM solver, COSFLOW, CoalPillar и др.

Эти программы обеспечивают проведение компьютерного инженерного анализа проектируемых объектов методом конечных элементов и при их адаптации к требуемым условиям позволяют решать задачи механики как сплошной, так и деформированной среды, а также процессов сдвижения массива горных пород (напряжения и смещения в окрестностях горных выработок).

Ввиду дороговизны стоимости лицензии коммерческих продуктов для достижения целей исследования выбор осуществили среди программ, распространяемых на условиях свободных лицензий (GNU GPL и т.п.) и являющихся хорошим вариантом для научных исследований и образовательного процесса.

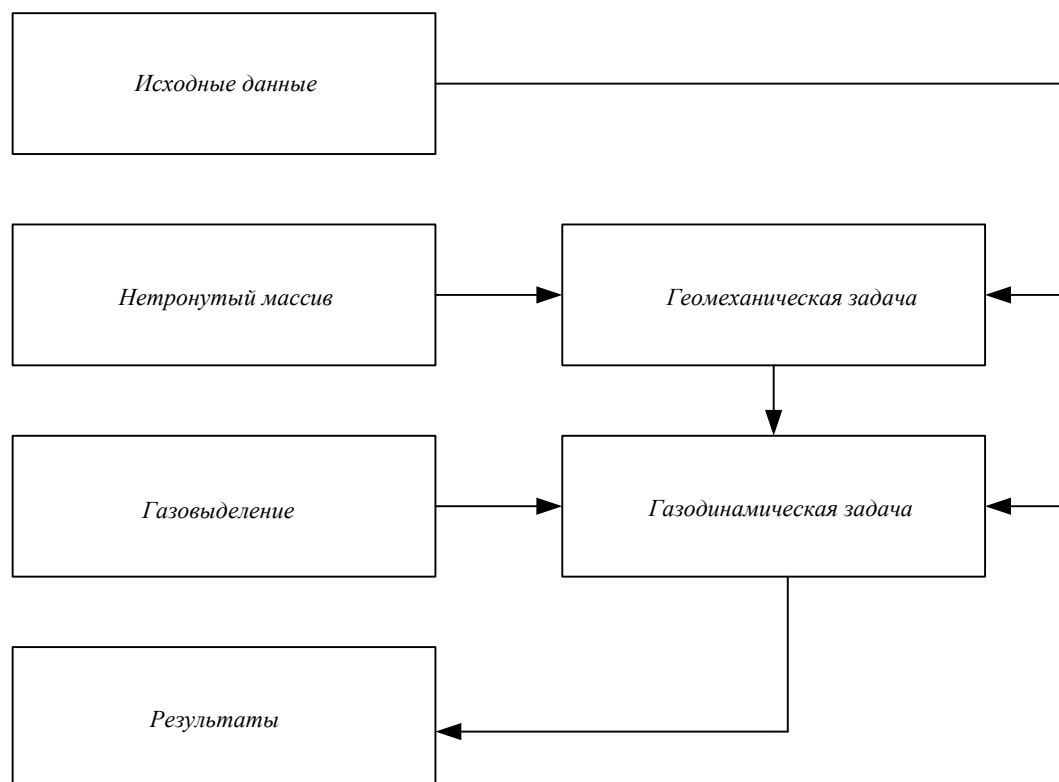


Рис. 1. Блок-схема выполнения исследований

Предпочтение отдано программе Z88Auroga на основании следующих факторов [3, 7, 8]:

- достаточно полная документированность работы приложения; в программе реализован специальный помощник (Spider), анализирующий правильность задания структуры объекта, граничных условий, материалов и т.п.;

- реализация взаимодействия с программой не только через интерфейс командной строки и текстовые файлы (*.txt), но и через хорошо продуманный графический интерфейс пользователя (GUI);

- возможность адаптации программы к задачам любых исследований, что выражается, например, в виде расширяемой базы данных материалов. При этом материалы, имитирующие окружающий массив, задаются по таким параметрам, как модуль Юнга, плотность, коэффициент Пуассона и т.д.;

- наличие возможности программного дополнительного разделения на конечные элементы (суперэлементы), что позволяет уменьшить объем вводимой информации и порядок разрешающей системы уравнений;

- возможность применения программы на машинах с различной производительностью (реализация трех различных модулей решения (выполнения расчета)) по методу Холецкого без детализации, по прямому матричному методу с детализацией, по методу итераций с разреженными матрицами (метод сопряжен-

ных градиентов с предварительной обработкой смещенным незавершенным разложением Холецкого или последовательной сверхрелаксацией).

Наиболее часто применяемыми конечными элементами при решении трехмерных задач вычисления деформаций и напряжений в пространстве являются:

- тетраэдр 17 (4 узла, линейная функция формы) (рис. 2, а);

- тетраэдр 16 (10 узлов, квадратичная функция формы) (рис. 2, б);

- шестигранник 1 (8 узлов, линейная функция формы) (рис. 2, в);

- шестигранник 10 (20 узлов, квадратичная функция формы) (рис. 2, г).

Для моделирования напряженно-деформированного состояния массива при ведении очистных работ с использованием программы Z88Auroga и дискретизации расчетной области на конечные элементы наиболее приемлемым является трехмерный элемент шестигранник 1. Этот элемент является трансформируемым, следовательно, он может иметь форму клина или даже косоугольную форму.

Для задания исходных данных при моделировании принят комплексный подход: сведения о координатах узлов (геометрии выемочного участка) и типе конечных элементов задаются в виде файла z88structure.txt, наборы данных – в виде файла z88sets.txt, граничные

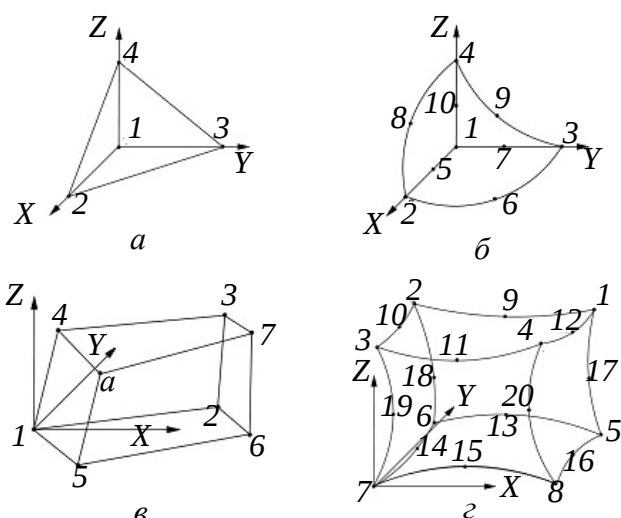


Рис. 2. Рекомендуемые к использованию конечные элементы:

a – тетраэдр 17; *б* – тетраэдр 16; *в* – шестигранник 1; *г* – шестигранник 10

условия, свойства материалов и параметры модуля выполнения расчетов – средствами GUI Z88Auroга. Это позволяет формализовать 3D-модель выемочного участка с приемлемым уровнем детализации.

В связи с ограниченными возможностями используемого компьютера расчеты выполнены только по модели Гука (геометрическая нелинейность).

В качестве объекта исследования приняты условия выемочного участка с тестовыми исходными данными, соответствующими одной из шахт Байдаевского геолого-экономического

района: выемочный столб околонушен четырьмя выработками; длина очистного забоя составляет 220 м; мощность пласта 2,8 м; геометрические размеры выработок: ширина – 5 м, высота – 2,8 м; ширина целика между выработками – 30 м. В геомеханической модели породы почвы заданы слоями общей мощностью 50 м, слой породы кровли – 150 м. Граничные условия: смещения нижнего слоя и боков модели равны нулю. На объемную модель создана нагрузка 10 МПа, что соответствует глубине 400 м. Плотность пород, слагающих массив, принята равной 2,5 т/м³, плотность угля – 1,3 т/м³. Средневзвешенный коэффициент крепости для пород почвы – 3,4, для пород кровли – 4,2, угля – 1,2.

Результаты моделирования приведены на рис. 3. Визуализация результатов моделирования с произвольным масштабом позволяет наглядно отобразить проявление деформаций и смещений. В программе Z88Auroга возможно моделировать геомеханические процессы в массиве горных пород, но существует необходимость более тонкой настройки граничных условий модели, что и планируется сделать в дальнейшем.

В качестве исходных данных для программы Z88Auroга могут быть использованы результаты моделирования для двумерного геомассива в комплексе проблемно-ориентированных программ Геомеханика [6, 9], который позволяет получать картину распределения напряжений, деформаций, коэффициентов концентрации напряжений,

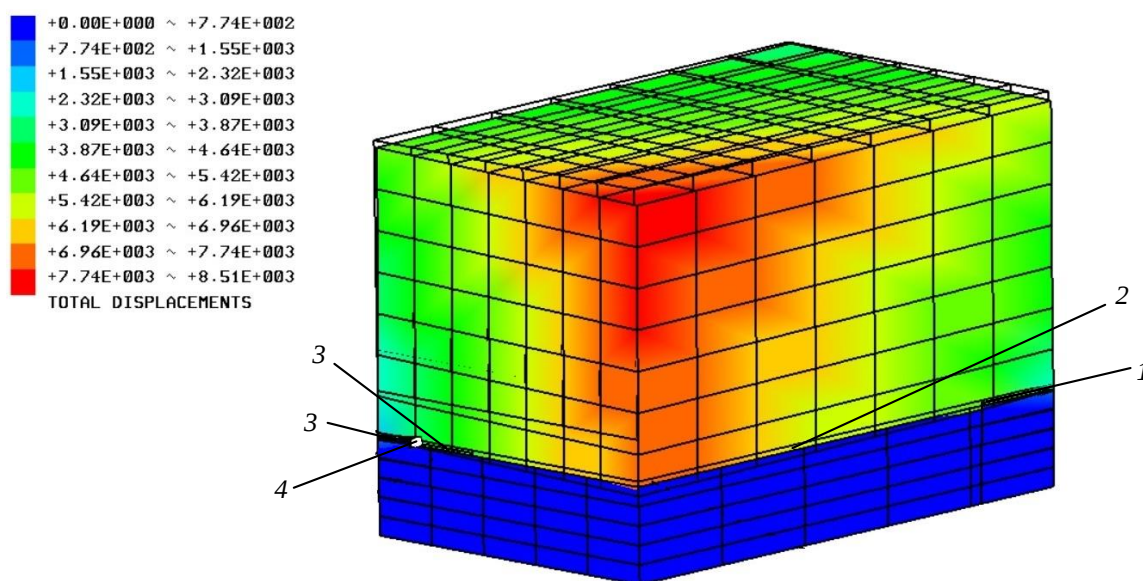


Рис. 3. Результаты моделирования смещений в программе Z88Auroга

1 – призабойное пространство; 2 – выработанное пространство; 3 – целики угля; 4 – подготовительная выработка

остаточной прочности, разрыхления, а также параметров зоны обрушения и т.п. На основе этих данных в программе Z88Aurora возможно рассчитать параметры уплотнения обрушения пород в трехмерной постановке задачи и в результате определить адекватные значения аэродинамических сопротивлений выработанного пространства по методике, предложенной в работах [2, 6]. Полученные данные являются исходными для комплекса «Вентиляция», в котором для конкретных горно-геологических условий становится возможным спроектировать эффективные системы управления метановыделением на выемочном участке.

Выводы. По результатам проведенных исследований установлено, что программный комплекс Z88Aurora позволяет численно моделировать поведение геомассива в результате его под- и надработки. Объединение результатов моделирования в комплексе Геомеханика с исходными данными программы Z88Aurora позволит получить адекватные значения аэродинамических сопротивлений как выработанного пространства, так и прилегающих целиков угля и массива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шувалов Ю.В., Коршунов Г.И., Монтиков А.В., Истомин Р.С., Суфьяров А.М., Ютяев Е.П. Геомеханические и газодинамические процессы в угленосном массиве при высоких скоростях подвигания очистных забоев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 6. С. 80 – 89.
2. Говорухин Ю.М., Говорухин Ю.М., Домрачев А.Н., Криволапов В.Г., Палеев Д.Ю., Балаганский М.Ю. Методология моделирования фильтрации газовоздушных смесей в выработанном пространстве выемочного участка // Вестник НЦ ВостНИИ. 2011. Вып. 1. С. 72 – 76.
3. Домрачев А.Н., Риб С.В. Синтез 2D и 3D моделей для прогноза устойчивости неоднородных целиков на угольных шахтах – В кн.: Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах. 2016. С. 211 – 215.
4. Домрачев А.Н., Риб С.В., Говорухин Ю.М. Расчет напряжений в подзавальных целиках при камерно-столбовой системе разработки – В кн.: Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Вып. 3. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016. С. 154 – 156.
5. Domrachev A.N., Govorukhin Yu.M., Krivolapov V.G., Lipatin V.I., Paleev D.Yu. Methodology for the selection and justification of a mine stopping reinforcement. – In book: Miner's week 2015. Reports Of The XXIII International Scientific Symposium. 2015. P. 141 – 150.
6. Говорухин Ю.М. Разработка метода оценки параметров воздухораспределения для снижения скорости окислительных процессов в выработанном пространстве угольных шахт: автореф. канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 21 с.
7. Z88AURORA User Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.z88.de/manuals> (Дата обращения 01 ноября 2016 г.).
8. Z88AURORA Theory Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.z88.de/manuals> (Дата обращения 01 ноября 2016 г.).
9. Говорухин Ю.М. Методика разработки исходных данных для моделирования геомеханических процессов, происходящих в выработанном пространстве – В кн.: Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2011. С. 112 – 115.

© 2016 г. Д.А. Киселев
Поступила 10 ноября 2016 г.