

П.С. Шпаков, В.Н. Долгоносков, А.А. Нагибин, Е.В. Кайгородова
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА В ПРОГРАММЕ «PHASE 2»

Выполнен анализ горно-геологической ситуации на западном крыле шахты «Казахстанская» и рассмотрены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива в окрестности очистного пространства лавы 312-Д6-1-3, отрабатывающей верхний слой пласта Д-6 на западном крыле шахты. Моделирование выполнено методом конечных элементов при помощи программы «Phase 2». Авторами разработана многостадийная модель на первые 50 м подвигания лавы (10 шагов по 5 м). По результатам расчетов прослеживается формирование зон разгрузки и растягивающих вертикальных и горизонтальных напряжений в кровле и почве очистной выработки, а также формирование зон опорного давления по краям очистного пространства. В результате анализа выявлена динамика формирования зон разрушений в кровле и почве очистной выработки. Выполнен прогноз шагов обрушения лавы 312-Д6-1-3. В расчетах использованы данные по разведочной скважине № 22579. Наблюдения, выполненные маркшейдерской службой шахты, показали, что первичное обрушение произошло на удалении 54–57 м от целика монтажной камеры. В 2013 году по центру очистного забоя произошло газодинамическое явление с большим выделением метана и резким взбучиванием почвы в районе секции 75–90. На участке длиной примерно 20 м подняло рештаки до 1 м. В лаве наблюдалось очень сильное газовыделение, была снижена нагрузка на очистной забой с 4500 до 3500 тонн в сутки, это говорит о взаимосвязи газодинамических явлений с шагами обрушения основной кровли.

Ключевые слова: численное моделирование, лава, целик, очистное пространство, напряжение, коэффициент безопасности.

Лава 312-Д6-1-3 на шахте «Казахстанская» смонтирована и запущена летом 2013 г. Лава отрабатывает верхний слой пласта Д-6 мощностью 2,7 м по простиранию пласта на западном крыле шахтного поля (рис. 1). Угол падения пласта составляет 7–14°. Длина очистного забоя у монтажной камеры составляет 215 м, а далее (с ПК 11+8 по вентиляционному штреку) длина лавы увеличивается до 240 м. Глубина ведения горных работ по центру очистного забоя составляет 460–490 м. Управление кровлей в лаве – полное обрушение.

На рис. 2 схематично построен разрез на первые 120 м подвигания

лавы от целика монтажной камеры по данным разведочных геологических скважин № 22579 и № 22562.

В непосредственной кровле пласта Д-6 залегает слой аргиллита мощностью 2,2 м ($\sigma_{сж.} = 16$ МПа), выше располагается слой алевролита мощностью 36,5 м ($\sigma_{сж.} = 40$ МПа).

Численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива выполнено при помощи программы «Phase 2» (www.roscience.com) [1].

«Phase 2» представляет собой мощную программу для моделирования методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния

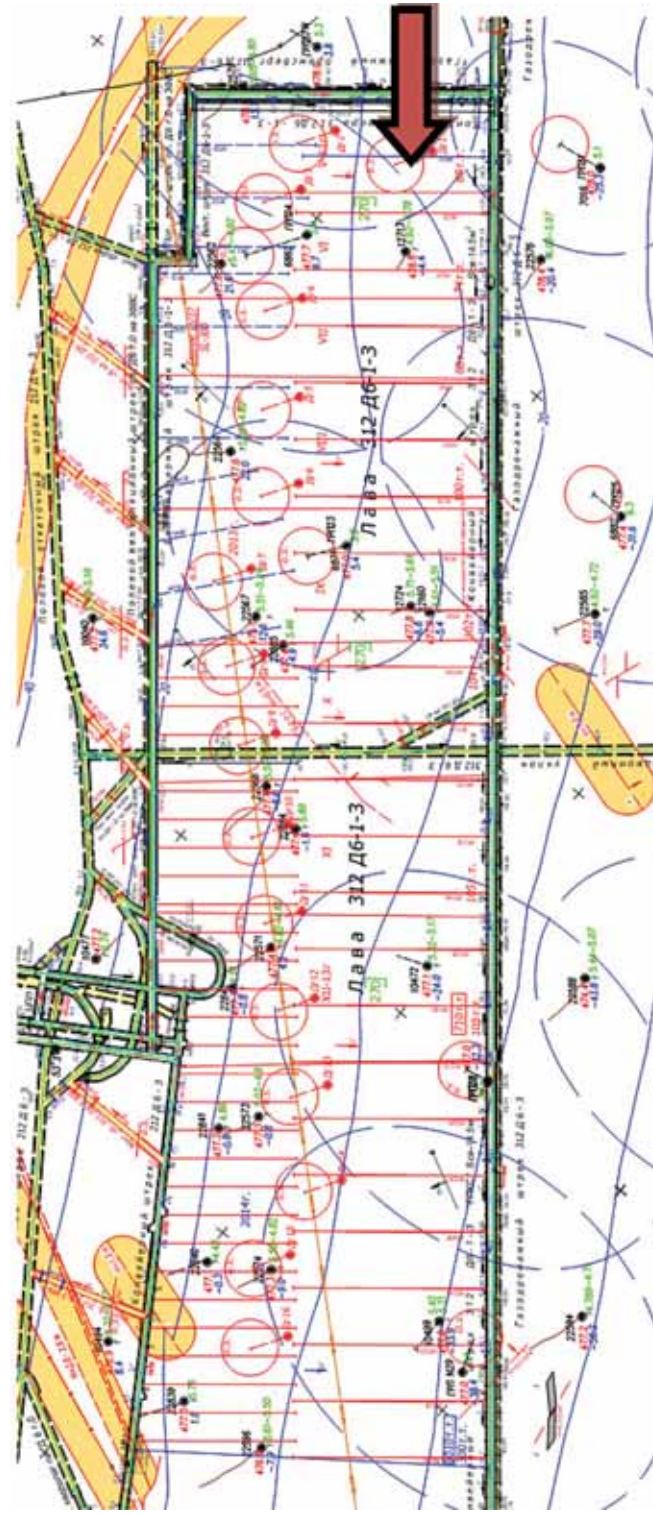


Рис. 1. Лава 312-Д6-1-3

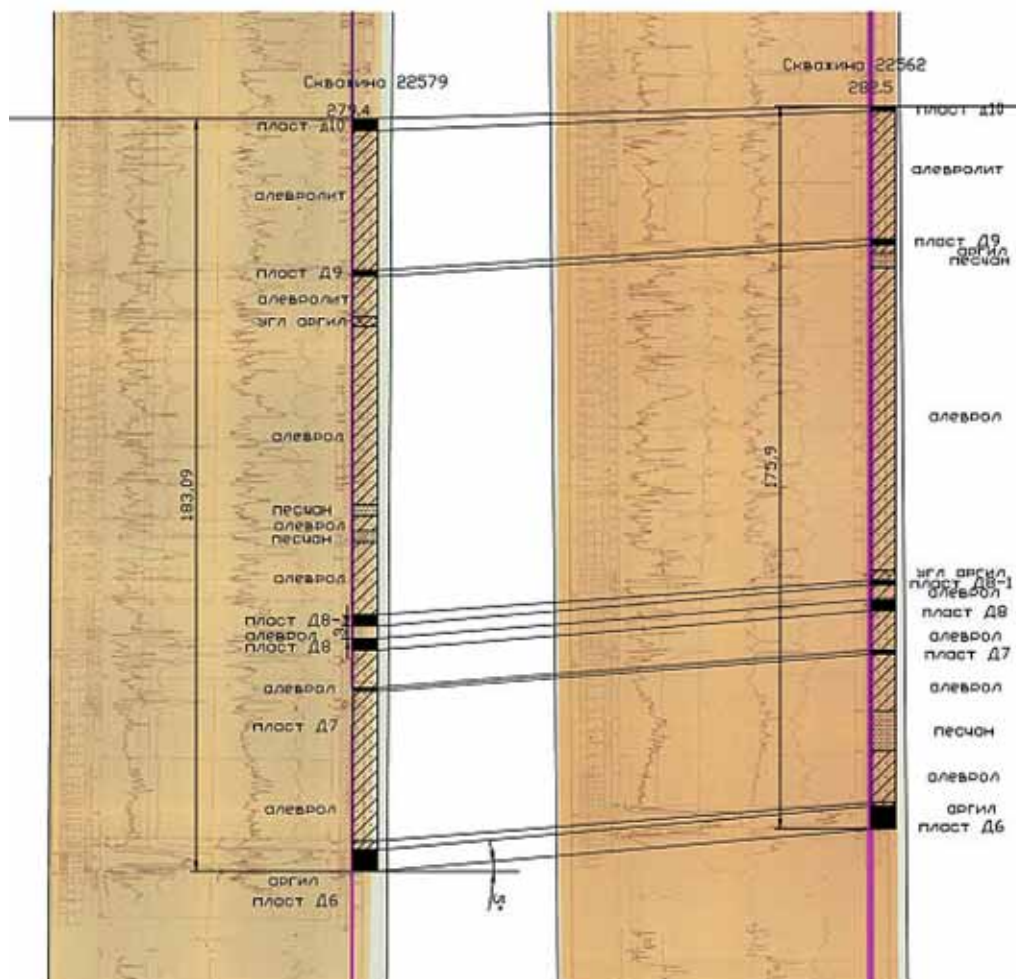


Рис. 2. Разрез по скважинам № 22562 и № 22579

массива при ведении строительных и горных работ в породах с различными механическими характеристиками. Программа «Phase 2» может быть использована для решения широкого круга инженерных задач, включающих проектирование и конечно-элементный анализ устойчивости. Программа позволяет быстро создавать и анализировать сложные, многостадийные модели: туннели в хрупких и многослойных скальных породах, глубокие подземные шахты, карьеры и наклон-

ные выработки, насыпи, дамбы, земляные сооружения и многое другое.

При моделировании массива горных пород и грунтовых слоев в программе используются модели (теории) Мора-Кулона и Хука-Брауна [2, 3].

Для моделирования напряженно-деформированного состояния массива при отработке пласта Д-6 разработана многостадийная модель на первые 50 м подвигания лавы 312-Д6-1-3 (10 шагов по 5 м), представленная на рис. 3.

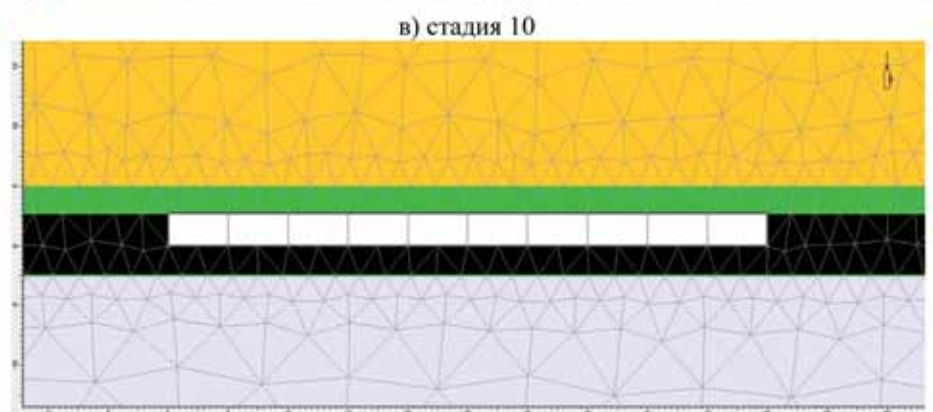
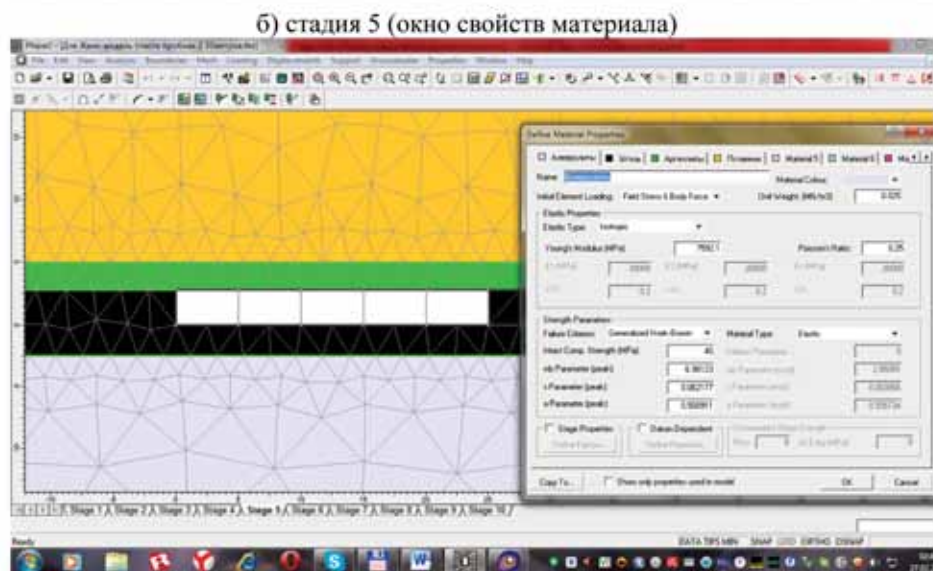
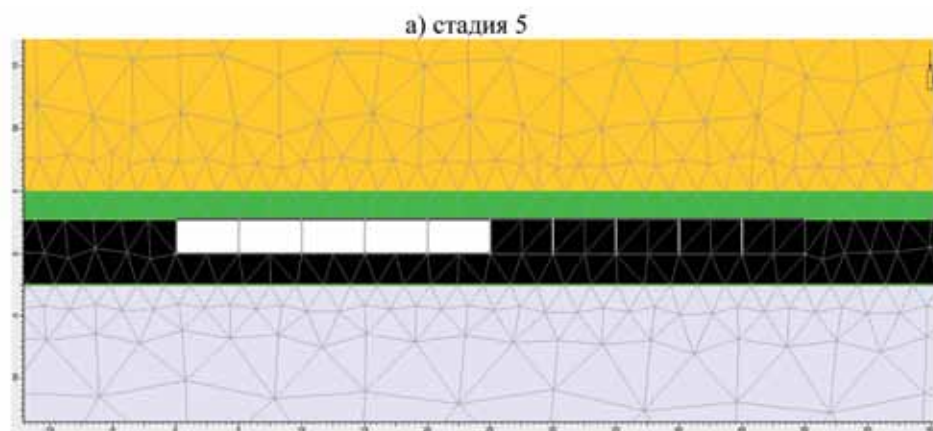


Рис. 3. Моделирование в «Phase 2» очистного пространства: а) стадия 5, б) стадия 5 (окно свойств материала), в) стадия 10

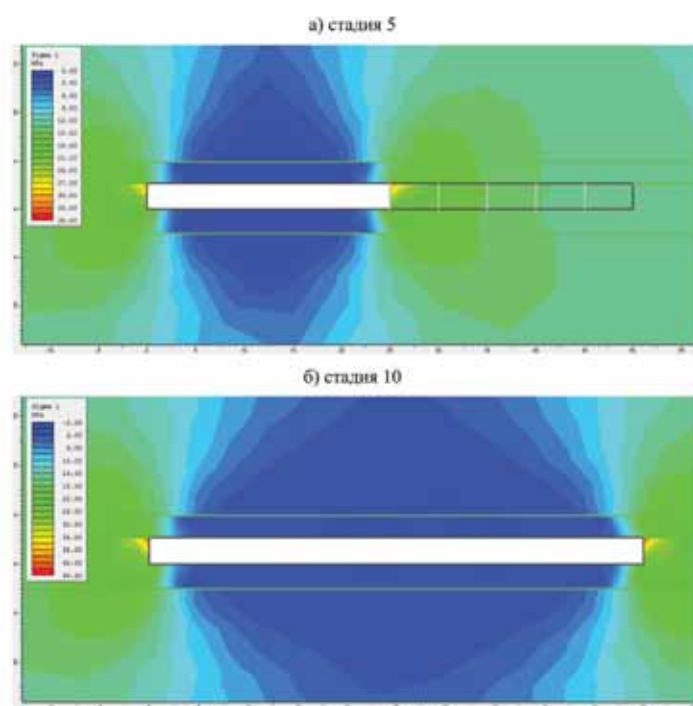


Рис. 4. Значения максимальных главных напряжений σ_1 : а) стадия 5, б) стадия 10

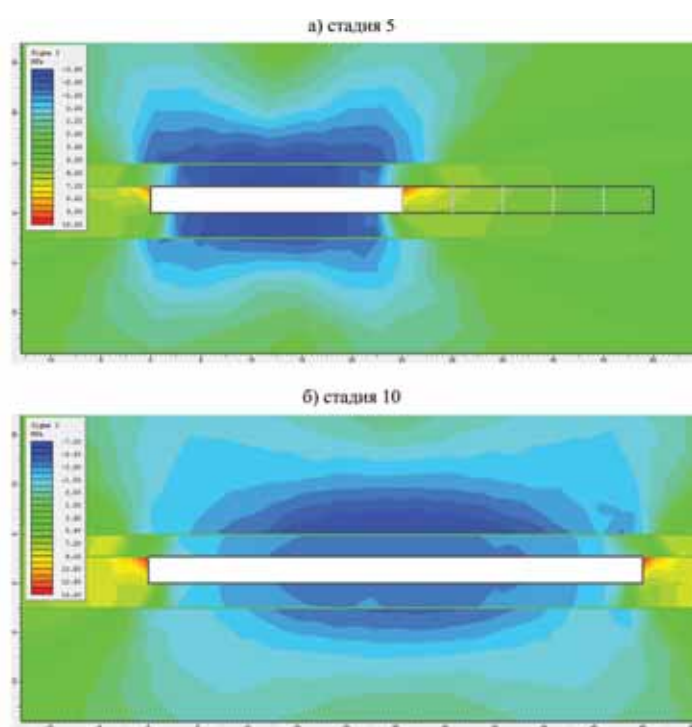


Рис. 5. Значения минимальных главных напряжений σ_3 : а) стадия 5, б) стадия 10

Графическое изображение значений максимальных главных (вертикальных) напряжений σ_1 представлено на рис. 4.

На рис. 4 прослеживается формирование зон разгрузки и растягивающих вертикальных напряжений в кровле и почве очистной выработки (4...2 МПа), а также формирование зон опорного давления по краям выработки (20...30 МПа). При невозмущенном (естественном) напряженном состоянии $\sigma_1 = \gamma H = 11...12$ МПа.

Данная ситуация приводит к формированию куполов и обрушений в кровле и возникновению условий для пучения слабых пород почвы.

Графическое изображение значений минимальных главных (горизонтальных) напряжений σ_3 представлено на рис. 5.

На рис. 5 прослеживается формирование зон разгрузки и растягиваю-

щих горизонтальных напряжений напряжений в кровле и почве очистной выработки (0...7 МПа).

Это очевидные зоны разрушения, так как при невозмущенном (естественном) напряженном состоянии $\sigma_3 = \lambda \gamma H = 3,5...4,0$ МПа.

На рис. 6 представлено распределение коэффициента безопасности (коэффициента запаса) в точках массива.

На рис. 6 также прослеживается динамика формирования зон разрушений в кровле и почве очистной выработки.

Выполнен прогноз шагов обрушения лавы 312-Д6-1-З. В расчетах использованы данные по разведочной скважине № 22579.

Прогнозные значения шагов обрушения [5–8]:

- по методике Пака Г.А.:
 $L_1 = 49,3 \approx 50,0$ м, $L_2 = 20,1 \approx 20,0$ м;

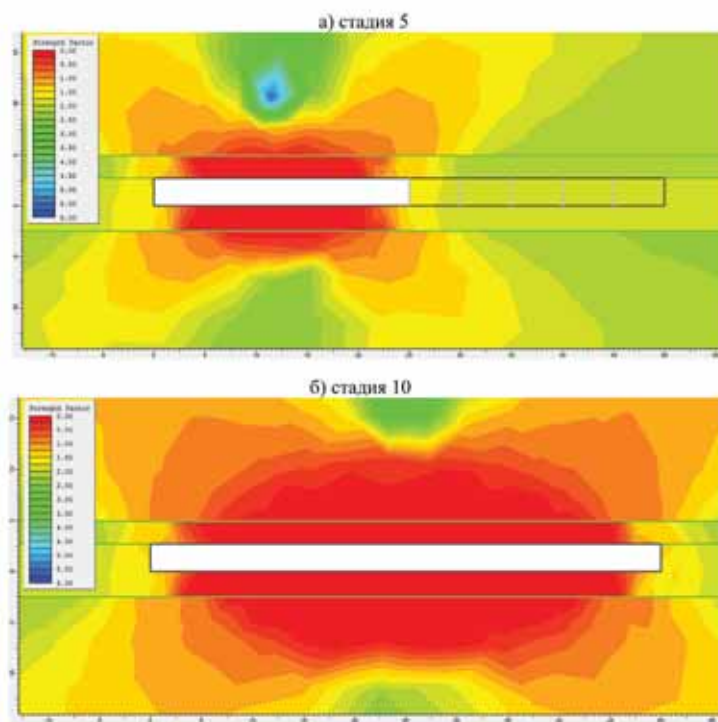


Рис. 6. Распределение значений коэффициента безопасности: а) стадия 5, б) стадия 10

• по методике ВНИМИ:
 $L_1 = 63,3 \approx 63,0$ м, $L_2 = 19,4 \approx 20,0$ м.

Наблюдения, выполненные маркшейдерской службой шахты, показали, что первичное обрушение произошло на удалении 54 – 57 м от целика монтажной камеры.

В начале августа 2013 г. по центру очистного забоя произошло газодинамическое явление с большим выделением метана и резким взбучиванием почвы в районе секции 75–90. На участке длиной примерно 20 м подняло решетки до 1 м. В лаве наблюдалось очень сильное газовыделение, в связи с чем

была снижена нагрузка на очистной забой с 4500 до 3500 т в сутки [4].

В середине августа газодинамическое явление повторилось. Отход от монтажной камеры составил порядка 170 м.

Эти события позволяют предположить о взаимосвязи газодинамических явлений с шагами обрушения основной кровли и необходимости дальнейших исследований геомеханических процессов при ведении очистных работ с использованием, в том числе и методов численного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. www.rockscience.com.
2. Ноек Е.Т. Practical rock Engineering. – www.rockscience.com, 2006.
3. Долгоносов В.Н. Управление состоянием горного массива: учебное пособие. – Караганда: изд-во КарГТУ, 2012. – 172 с.
4. Пак Г.А., Бедарев А.С., Долгоносов В.Н., Кайгородова Е.В. Прогноз шагов обрушения кровли в лаве 312-Д6-1-3 на шахте «Казахстанская» / III-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера», Караганда, 20–21 сентября 2013. – С. 178–181.
5. Шпаков П.С., Долгоносов В.Н., Пак Г.А. Распространение энергии обрушения основной кровли и ее взаимосвязь с газодинамическими явлениями на угольных шахтах // Маркшейдерия и недропользование. – 2010. – № 4. – С. 67–69.
6. Шпаков П.С., Пак Г.А., Долгоносов В.Н. Взаимосвязь шагов обрушения основной кровли и интенсивности газовыделения на шахтах «Сокурская» и «Саранская» Карагандинского бассейна // Маркшейдерия и недропользование. – 2009. – № 6. – С. 70–72.
7. Пак Г.А., Шпаков П.С., Долгоносов В.Н. О техногенной природе происхождения и проявления внезапных выбросов угля, и газа на угольных шахтах // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 6. – С. 28–30.
8. Пак Г.А., Шпаков П.С., Долгоносов В.Н. Разработка методики расчета шагов обрушения основной кровли и исследование взаимосвязи с интенсивностью метановыделения // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2009. – № 6. – С. 31–36. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шпаков Петр Сергеевич – доктор технических наук, профессор,
e-mail: SPSP01@rambler.ru, e-mail: SPSP01@mail.ru,

Муромский институт (филиал)

Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,

Долгоносов Виктор Николаевич¹ – доктор технических наук, профессор,

e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru,

Нагибин Алексей Александрович¹ – магистр, e-mail alex_e1@mail.ru,

Кайгородова Евгения Владимировна¹ – магистр,

e-mail evgeniya020980@list.ru,

¹ Карагандинский государственный технический университет.

**MODELING STRESS-STRAIN STATE OF ROCKS
AROUND STOPPING ZONE IN PHASE 2 PROGRAM**

Shpakov P.S., Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: SPSP01@rambler.ru, e-mail: SPSP01@mail.ru,
Murom Institute (Division), Vladimir State University named after Stoletovs,
Murom, Russia,

Dolgonosov V.N.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru,

Nagibin A.A.¹, Master, e-mail alex_e1@mail.ru,

Kaygorodova E.V.¹, Master, e-mail evgeniya020980@list.ru,

¹ Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan.

The article gives a review of geological situation in the western wing of Kazakhstanskaya Mine and discusses results of numerical modeling of stresses and strains in rocks around stopping zone in longwall 312-D6-1-1 on upper layer of stratum D-6 in the western wing of the mentioned mine. The modeling used finite element method and Phase 2 program. The authors have developed a multi-stage model for the first 50 m stretch of the longwall advance (10 steps 5 m in size).

The modeling data show the formation of zones of destressing and vertical and horizontal tensile stresses in the stopping roof and floor, as well as the formation of abutment pressure zones at the periphery of the stopping. As a result, dynamics of failure zone formation in the stopping roof and floor is determined. The calculation of caving steps in longwall 312-D6-1-3 is performed. The calculation used the data obtained in exploration hole no. 22579.

The inspection results of the mine surveying service showed that initial roof collapse occurred at a distance of 54–57 m from the pillar of an assembly room. In 2013, at the center of the production face, a gas-dynamic event took place, with high methane release and abrupt swelling of floor near section 75–90. Pans were elevated to a height of 1 m in a sector 20 m long. Violent gas release was observed in the longwall, the production face output lowered from 4500 to 3500 tons per day, which is the evidence of interrelation between gas-dynamic phenomena and steps of main roof caving.

Key words: numerical modeling, longwall, pillar, stopping zone, stress, safety factor.

REFERENCES

1. www.rockscience.com.
2. Hoek E.T. *Practical rock Engineering*. www.rockscience.com, 2006.
3. Dolgonosov V.N. *Upravlenie sostoyaniem gornogo massiva: uchebnoe posobie* (Controlling the state of the rock mass. Educational aid), Karaganda, izd-vo KarGTU, 2012, 172 p.
4. Pak G.A., Bedarev A.S., Dolgonosov V.N., Kaygorodova E.V. *III-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Aktual'nye problemy preduprezhdeniya i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy tekhnogennogo kharaktera»* (III International Conference on Topical Issues of Prevention and Elimination of Induced Emergencies), Karaganda, 20–21 September 2013, pp. 178–181.
5. Shpakov P.S., Dolgonosov V.N., Pak G.A. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2010, no 4, pp. 67–69.
6. Shpakov P.S., Pak G.A., Dolgonosov V.N. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie*. 2009, no 6, pp. 70–72.
7. Pak G.A., Shpakov P.S., Dolgonosov V.N. *Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2009, no 6, pp. 28–30.
8. Pak G.A., Shpakov P.S., Dolgonosov V.N. *Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2009, no 6, pp. 31–36.

