



УДК 004 : 942 : 622.83

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ГОРНОГО МАССИВА ПРИ ОТРАБОТКЕ ВЫЕМОЧНОГО СТОЛБА СЛОЖНОЙ ФОРМЫ**

В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова

*Сибирский государственный индустриальный университет,
E-mail: zzz338@rdtc.ru, ld_pavlova@mail.ru, ул. Кирова, 42, 654007, г. Новокузнецк, Россия*

По результатам численного моделирования напряженно-деформированного состояния горного массива обоснованы геомеханические параметры подготовительных выработок, примыкающих к очистному выработанному пространству, при многоштрековой подготовке и отработке пологих пластов лавами переменной длины. Установлены негативные воздействия горных работ на геомеханическую ситуацию при переходе комплексно-механизированного очистного забоя из длинной лавы в короткую.

Выемочный столб, дизъюнктивное нарушение, напряжения, угольный пласт, угольный целик

**MODELING STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASS
UNDER MINING OF COMPLEX-SHAPE EXTRACTION PILLAR**

V.N. Fryanov¹, L.D. Pavlova²

*¹Siberian State Industrial University,
E-mail: zzz338@rdtc.ru, ld_pavlova@mail.ru, 42 Kirova Str., Novokuznetsk 654007, Russia*

Based on the results of numerical modeling of stresses and strains in rock mass, geomechanical parameters of development workings adjacent to coal face operation area are provided for multi-entry preparation and extraction of flat seams with production faces of variable length. The negative effects on the geomechanical situation during the transition from the longwall to shortwall mining in a fully mechanized extraction face are found.

Extraction pillar, disjunctive dislocations, stress, coal seam, coal pillar

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная отработка пологих угольных пластов с применением современных высокопроизводительных комплексно-механизированных забоев (КМЗ) требует вскрытия и подготовки шахтных полей с размерами по простиранию и падению 3–4 км. Выемочные поля должны быть, как правило, однокрылые, прямоугольной формы. На практике вследствие особенностей залегания свиты угольных пластов в виде синклинальных и антиклинальных складок, наличия дизъюнктивных нарушений, влияния угольных целиков различного назначения при проектировании может быть принята сложная форма выемочных участков. На рис. 1 показан вариант подготовки и отработки выемочного столба, в пределах которого выявлены дизъюнктивные нарушения при проведении вентиляционного штрека 01. При движении комплексно-механизированного забоя в направлении от флангового ствола к центральным стволам лава будет разной длины.

В этих условиях возникает проблема проведения и поддержания системы параллельных выработок, охраняемых на глубине разработки 200–800 м угольными целиками шириной 20–60 м. Ширина целика выбирается с учётом конкретных горно-геологических и горнотехни-

ческих условий, в том числе длины лавы. При изменении длины лавы, в случае уступной формы выемочного участка, возникает необходимость выбора ширины устойчивых угольных целиков и параметров крепи подготовительных выработок на участках перехода КМЗ от короткой лавы к длинной или наоборот. Для обоснования ширины устойчивых угольных целиков и параметров крепи подготовительных выработок, оконтуривающих выемочный столб, необходимо определить напряжённо-деформированное состояние углепородного массива в окрестности уступа выемочного столба при сложной форме очистной выработки.

При движении КМЗ (см. рис. 1) возникнет необходимость сокращения длины механизированного комплекса на длину сбойки 20–21 посредством демонтажа части секций механизированной крепи. После отработки запасов угля в контуре короткой лавой между сбойками 1 и 2 необходимо нарастить длину механизированного комплекса и провести отработку запасов угольного пласта после сбойки 2 длинной лавой [1].

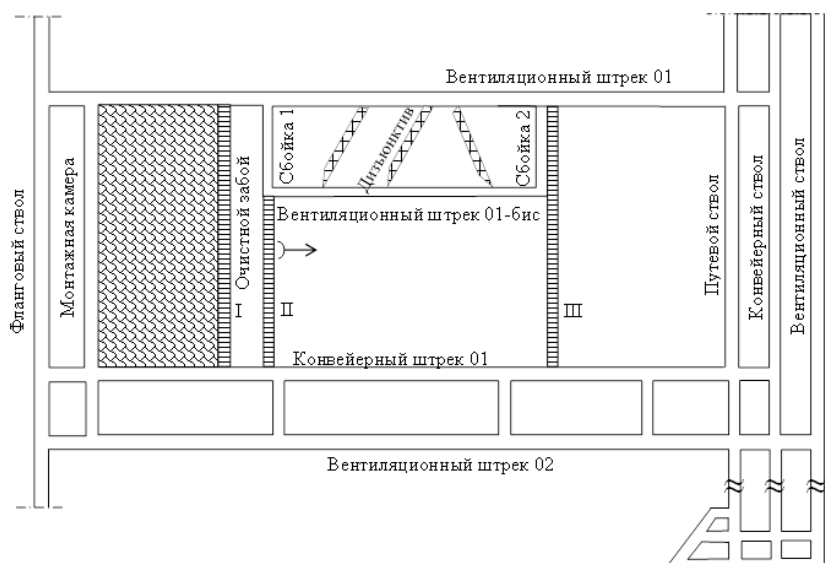


Рис. 1. Схема отработки выемочного участка сложной формы с уступами в зоне влияния дизъюнктивных нарушений: I, II, III – положения очистного забоя

Для геомеханического обеспечения безопасных условий отработки приведённого на рис. 1 выемочного столба сложной формы необходимо решить следующие технологические задачи:

- обосновать алгоритм выбора параметров крепи и обеспечения устойчивости сбоек в зоне опорного горного давления при подходе к ним КМЗ;
- определить исходные данные для расчёта параметров безопасного въезда очистного механизированного комплекса в предварительно пройденную сбойку 1;
- определить исходные данные для расчёта параметров крепи вентиляционного штрека 01-бис, сбоек, конвейерного штрека 01 и вентиляционного штрека 02.

Существующие методические документы не в полной мере обеспечивают решение поставленных задач.

Таким образом, актуальность моделирования напряженно-деформированного состояния углепородного массива при сложной форме очистных выработок и прогноза по результатам расчётов параметров крепи выработок на границе очистного выработанного пространства уступной формы подтверждается следующими факторами:

- формированием концентраторов напряжений на угловых краевых участках пласта, при сокращении ширины угольного целика между очистным забоем и сбойкой 1, где возможно проявление горного давления в виде газодинамических событий;

- отсутствием количественных зависимостей параметров опорного горного давления в окрестности выработок на участках с переменной длиной лавы;
- сложностью обоснования технологических параметров въезда очистного механизированного комплекса в демонтажную камеру и обеспечения её устойчивости при извлечении секций механизированной крепи.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геометрическая модель выемочных участков включает следующие характерные положения очистного забоя (см. рис. 1):

- положение I – до въезда в демонтажную камеру (сбойку 1) при переходе механизированного комплекса из длинной лавы в короткую;
- положение II – при отработке выемочного столба короткой лавой;
- положение III – после наращивания секций крепи в сбойке 2 в выемочном столбе в пределах длинной лавы.

Характерными технологическими объектами, в окрестности которых необходимо выявить закономерности распределения вертикальных напряжений, являются целик между КМЗ и сбойкой 1, сбойка 1, вентиляционный и конвейерный штреки (см. рис. 1).

Математическая модель напряженно-деформированного состояния углепородного массива, включающего систему горных выработок, строится на основе определяющих соотношений теории деформируемого твердого тела в виде краевой задачи [2, 3]. Численное моделирование реализуется на основе метода конечных элементов [4, 5].

Для выявления закономерностей распределения вертикальных напряжений в угольном пласте и породах кровли при сложной форме очистной выработки проведены вычислительные эксперименты с использованием авторского комплекса проблемно-ориентированных программ [6, 7].

При проведении исследований приняты следующие исходные данные: длина выемочного столба 800 м, длина очистного забоя в пределах длинной лавы 300 м, короткой лавы – 200 м, ширина подготовительных выработок 5 м, глубина разработки 600 м, мощность пласта 3 м, мощность пород непосредственной кровли 7 м, основной – 30 м, предел прочности угля в пласте 10 МПа, пород кровли – 30–60 МПа.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

При моделировании ширина целика между КМЗ и сбойкой 1 сокращалась в пределах 50–0 м с шагом 10 м. На рис. 2 приведены изолинии распределения вертикальных напряжений в угольном пласте при отработке выемочного столба в пределах длинной лавы и подходе КМЗ к сбойке 1 на расстояние 10 м.

По результатам анализа характера распределения напряжений, смещений и коэффициента дезинтеграции угля выявлены следующие закономерности:

- при сокращении ширины угольного целика между КМЗ и сбойкой 1 наиболее опасной зоной является сопряжение вентиляционного штрека 01-бис и сбойки 1. В этой зоне коэффициент концентрации вертикальных напряжений достигает 4.6, вертикальные напряжения существенно превышают предел прочности угля при сжатии;
- максимум эпюры опорного горного давления в угольном целике при его ширине более 50 м располагается в краевой части пласта КМЗ, а при сокращении ширины целика перемещается к его середине, формируя концентратор энергии, способной выделяться в виде горного удара;

Коэффициент концентрации вертикальных напряжений в краевой части пласта посередине короткой лавы снизился по сравнению с соответствующим коэффициентом в длинной лаве почти в два раза и составил 2.2. Негативное влияние уступа на сопряжении сбойки 1 и вентиляционного штрека 01-бис на устойчивость этого штрека ощущалось при удалении КМЗ от этого уступа в пределах $0-0.2H$, где H – глубина разработки. В короткой лаве отношение остаточной прочности угля к исходной составило 0.8–1.0, то есть вероятность интенсивного отжима угля в краевой части пласта в короткой лаве снизилась.

Процесс перехода КМЗ из короткой лавы в длинную (зона III на рис. 1) существенно не усложнил геомеханическую ситуацию (рис. 4). Это связано с тем, что секции механизированной крепи предварительно монтируются в сбойке 2 и обеспечивают в рабочем состоянии устойчивость пород кровли монтажной камеры. На первом этапе отработки выемочного участка в пределах длинной лавы зависающие породы кровли на уступе сопряжения погашенных вентиляционного штрека 01-бис и сбойки 1 приводят к локальному увеличению вертикальных напряжений в краевой части пласта, однако после отхода очистного забоя и обрушения пород кровли напряжения по длине забоя становятся равномерными. Дальнейшая отработка выемочного участка в пределах длинной лавы особых затруднений по геомеханическим факторам не вызывает (см. рис. 4).

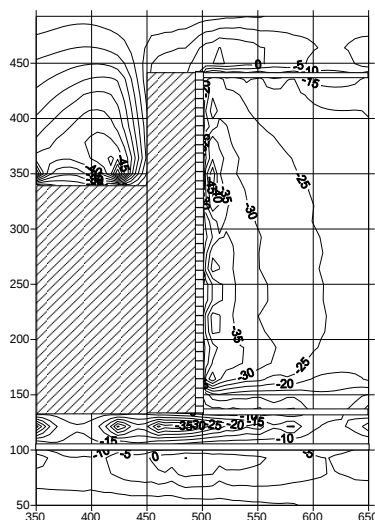


Рис. 4. Распределение вертикальных напряжений при переходе очистного забоя от короткой лавы к длинной

По результатам расчёта коэффициента концентрации вертикальных напряжений в угольном целике между конвейерным штреком 01 и вентиляционным штреком 02 получена следующая зависимость:

$$k = 0.25 + 4.00 \frac{l}{H},$$

где k – коэффициент концентрации вертикальных напряжений; l – длина лавы, м; H – глубина разработки, м.

Формулу рекомендуется использовать для определения расчётной глубины разработки, типовых смещений кровли и боков выработок, а также ширины целиков в соответствии с действующими методическими рекомендациями ВНИМИ.

ВЫВОДЫ

Установлены следующие существенные негативные воздействия на геомеханическую ситуацию при переходе в пределах одного выемочного участка КМЗ из длинной лавы в корот-

кую: формирование вблизи сопряжений выработок зоны повышенных напряжений при сокращении ширины угольного целика между очистным забоем и демонтажной камерой; вероятность возникновения газодинамических явлений в угольном целике и на уступе пласта, где формируется концентратор энергии; разрушение пород кровли и боков демонтажной камеры при ширине угольного целика до 5 м.

Рекомендуется при переходе в пределах одного выемочного участка из длинной лавы в короткую формировать демонтажную камеру посредством выемки пласта очистным комбайном, крепления пород кровли и последовательного демонтажа очистного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Anufriev V.E., Kalinin S.I. et al.** Geomechanical State of Adjacent Rock Mass of a Disassembly Chamber. Kemerovo Inst Uglya Uglekhim, SB RAS, RANK, 2006. (in Russian) [**Ануфриев В.Е., Калинин С.И. и др.** Геомеханическое состояние приконтурного массива демонтажной камеры / Ин-т угля и углехимии СО РАН, ООО РАНК. – Кемерово, 2006. – 80 с.]
2. **Tsvetkov A.B., Pavlova L.D.** Mathematical modeling of the stress-strain state of geomass under integrated action of gravitational and geotectonic forces, *Nacu-Tekh Vestn Povolshie*, 2013, no. 6, pp. 485–488. [**Цветков А.Б., Павлова Л.Д.** Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива в условиях интегрального воздействия гравитационных и геотектонических сил // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань, 2013. – № 6. – С. 485–488.]
3. **Tsvetkov A.B., Pavlova L.D., Fryanov V.N.** Construction of the approximant of complete diagram for rock deformation, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 45. (012009) (Available at: <http://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/45/1>)
4. **Kornev E.S., Pavlova L.D., Fryanov V.N.** Numerical Modeling of Geomechanical Processes during Shortwall Mining of Coal Seams. Prague: Vědecko vydavatelské centrum Sociosféra-CZ, 2014. (in Russian) [**Корнев Е.С., Павлова Л.Д., Фрянов В.Н.** Численное моделирование геомеханических процессов при короткозабойной отработке угольных пластов. – Прага: Vědecko vydavatelské centrum «Sociosféra-CZ», 2014. – 206 с.]
5. **Kornev E.S., Pavlova L.D., Fryanov V.N.** Numerical modeling of geomechanical state of a geomass in the bilateral extraction of short coal pillars, *Vestn KuzGTU*, 2015, no. 2 (108), pp. 20–26. [**Корнев Е.С., Павлова Л.Д., Фрянов В.Н.** Численное моделирование геомеханического состояния геомассива при двусторонней выемке коротких угольных столбов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (108). – С. 20–26.]
6. **Kornev E.S., Pavlova L.D., Fryanov V.N.** Development of a package of problem-oriented programs for modeling geomechanical processes by the finite element method, *Vestn KuzGTU*, 2013, no. 2, pp. 65–69. [**Корнев Е.С., Павлова Л.Д., Фрянов В.Н.** Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов методом конечных элементов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 65–69.]
7. **Kornev E.S., Pavlova L.D.** Application of software for finite element analysis for the solution of three-dimensional problems of mining geomechanics, *Proc Int Conf: High Technologies for Mineral Mining and Use. Novokuznetsk*, 2015, pp. 126–129. (in Russian) [**Корнев Е.С., Павлова Л.Д.** Применение программных средств конечно-элементного анализа для решения трёхмерных задач горной геомеханики // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей по материалам Междунар. научно-практ. конф., Новокузнецк, 2–5 июня, 2015 г. – Новокузнецк, 2015. – С. 126–129.]