

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.241.54:539.3

Н.В. Черданцев, В.А. Федорин, В.Т. Преслер

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЦЕЛИКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПО ГЕОТЕХНОЛОГИИ HIGHWALL

Применяемые в мировой практике комбинированные (открыто-подземные) геотехнологии освоения недр исходят из того, что границы открытых горных работ определяются на основе экономических или энергетических критериев, а они не всегда могут совпадать с природными особенностями – естественными границами месторождений, пространственным распределением угленасыщенности, характером выхода угольных пластов на поверхность и т.д. В Кузбассе такие технологии начали применяться в последнее время (угольные разрезы «Сибиргинский», «Моховский», «Распадский»). Выбор варианта открытого-подземной разработки угольных месторождений является комплексной задачей. Он включает анализ природных условий месторождения, геомеханическое состояние массива (изучение геомеханических особенностей выбранной технологии) и сущность технологии вскрытия и отработки месторождений.

Применение геотехнологии HIGHWALL позволяет отрабатывать угольные пласти в приконтурной части карьера путём применения для проведения выработок роторных агрегатов. Эффективность и перспективы использования HIGHWALL на угольных предприятиях, а также геомеханическое обоснование устойчивости породных обнажений в окрестности выработок приведены в статьях [1–4].

Одной из основных проблем при разработке пласта является проблема устойчивости выработок. Выработка не устойчива, если за контуром выработки образуются зоны нарушения сплошности (ЗНС) некоторой области, в которой не выполняются условия прочности Кулона–Мора либо Мора–Кузнецова. В этих условиях в качестве параметров входят характеристики прочности горной породы - угол внутреннего трения ϕ и коэффициент сцепления K . Известно также, что массив горных пород, вмещающий систему выработок, при определённых условиях их взаимного расположения и значениях параметров среды теряет устойчивость. Этим условиям соответствует объединение зон нарушения сплошности (ЗНС) массива от каждой выработки. Единые ЗНС будем называть областями неустойчивости массива. Ис-

ходная система нескольких выработок перестаёт существовать. В результате образуется один вырез больших размеров, что приводит к дальнейшему разрастанию ЗНС. Поэтому важно установить условия образования областей неустойчивости и определить их положение и размеры.

Существующие модели достаточно полно учитывают такие свойства массива как упругость, пластичность, ползучесть. Однако одно из его основных свойств - прочностная анизотропия, обусловленная наличием регулярных поверхностей ослабления (слоистость, кливаж, тектонические нарушения), практически не используется в анализе его геомеханического состояния, хотя разрушение массива, в первую очередь, происходит по этим поверхностям. Учёт прочностной анизотропии позволяет получить обоснованные оценки нарушенности массива и в соответствии с ними дать достоверную картину устойчивости выработок. Решение этой задачи основывается на подходе Грина, в котором массив рассматривается как бесконечная среда с полостями произвольных очертаний, нагруженная около них со стороны массива естественным полем напряжений, а изнутри – фиктивной нагрузкой. В математической постановке это приводит к интегральному уравнению краевой задачи теории упругости, для решения которой наиболее эффективен метод граничных элементов, обеспечивающий построение непрерывной картины нарушенности массива с регулярными системами поверхностей ослабления согласно критерию разрушения Мора – Кузнецова. Ориентация поверхности ослабления в пространстве задаётся углом падения α (угол между нормалью v к поверхности и вертикальной осью поперечного сечения z) и простирации β (угол между проекцией нормали на горизонтальную плоскость $x\theta$ и осью выработки x).

На основе отмеченного подхода создана объёмная модель, описывающая геомеханическое состояние (напряжённое, нарушенности, устойчивости) массива горных пород, вмещающего систему выработок, и разработаны методы её компьютерной реализации [5]. Созданная модель является универсальной. Она определяет непрерывное поле напряжений в окрестности выработок произ-

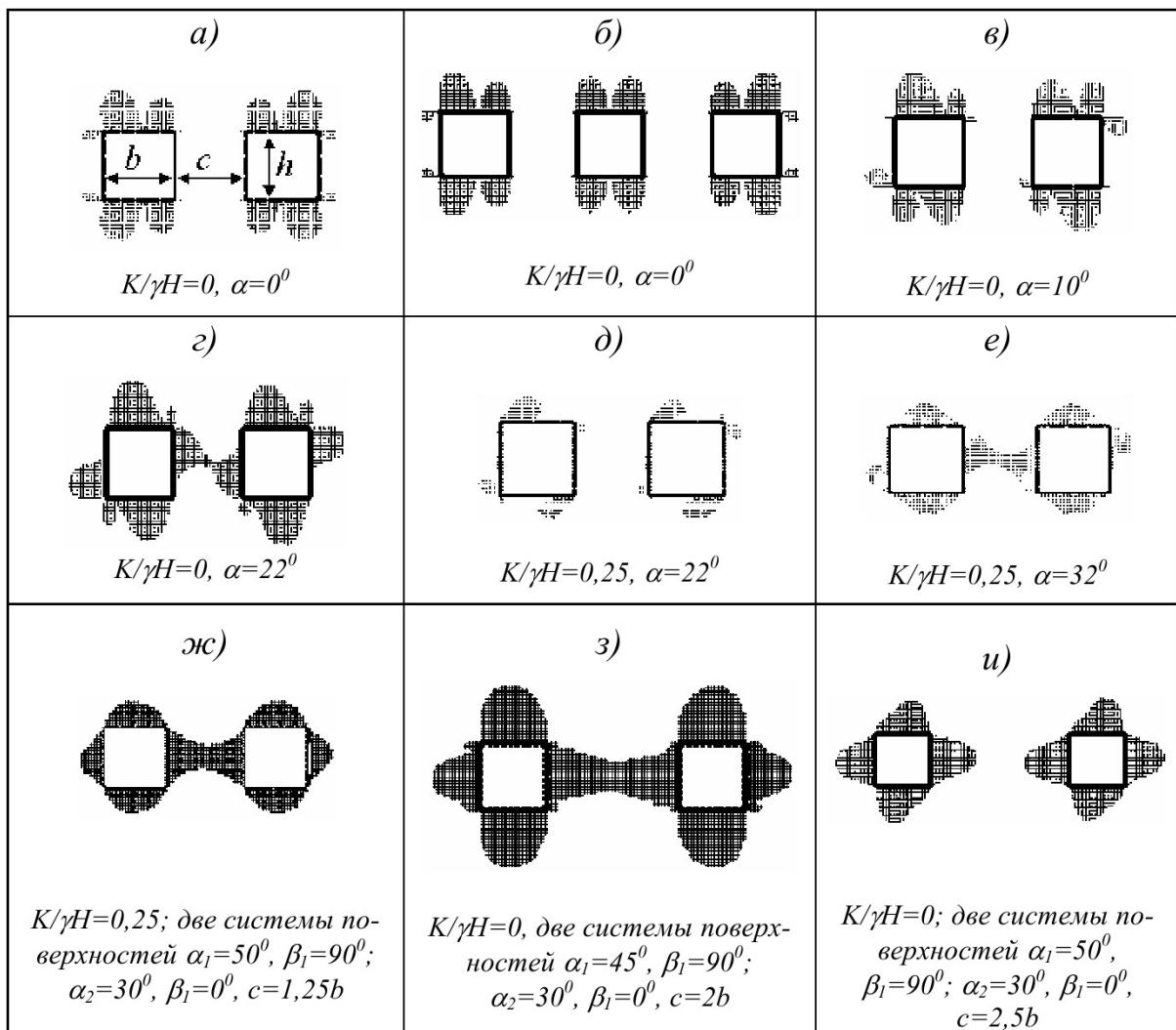


Рис. 1. ЗНС массива в окрестности системы двух и трёх выработок

вольного очертания, а также их систем, учитывает любые системы поверхностей ослабления с различными характеристиками среды, а также опорное давление в области ведения горных работ и на базе вычислительного эксперимента обеспечивает комплексное изучение различных модельных сред. Изучение проводится путём построения ЗНС и посредством количественной оценки нарушенности, представленной показателем нарушенности – коэффициентом, который определяет общую площадь нарушенности массива, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения выработки, а также границей смыкания отдельных ЗНС выработок.

Исследование устойчивости выработок при некоторых параметрах среды (коэффициент бокового давления, угол наклона поверхностей ослабления), в рамках созданной модели проводилось ранее в [6]. В этой статье не проводились расчёты с различными размерами целиков, и поэтому устойчивый размер целика не определён.

Поскольку горные породы в окрестности про-

тяжённой выработки (системы выработок) находятся в условиях плоского деформированного состояния, то расчётной схемой массива, вмещающего эти выработки, является плоскость, пронизанная системой поверхностей ослабления и нагруженная в окрестности выработок нормальными и касательными напряжениями естественного гравитационного и, возможно, тектонического полей напряжений.

В дальнейших расчётах ограничимся учётом лишь гравитационного поля напряжений. В приведённых выражениях λ – коэффициент бокового давления, ν – коэффициент Пуассона, γ – объёмный вес налегающих пород, H – глубина заложения выработок.

На основе проведенных расчётов напряжённого состояния построены ЗНС в окрестности выработок, используемые для оценки состояния нарушенности и устойчивости угольного массива в окрестности комплекса выработок квадратного сечения, проходящих на одном горизонте по этой геотехнологии на Кузбасском угольном разрезе

«Распадский». В расчётах принимались следующие параметры среды и размеры выработок: $b=h=4m, \gamma=25kH/m^3, H=100m, v=0,25$. Размер целика c в расчётах принимал следующие значения: $c=(1; 1,25; 2; 2,5)b$.

Картинны ЗНС в приконтурном массиве приведены на рис. 1. В большинстве примеров целик между выработками равен их пролёту ($c=b$) а угол простирания поверхностей ослабления $\beta=90^\circ$.

Из рисунка можно заметить следующее.

1. В окрестности системы из двух и трёх выработок (рис. 1 (а, б)) размеры и характер ЗНС незначительно отличается друг от друга. Увеличение числа выработок не изменяет характера геомеханического состояния массива в окрестности выработки – параметры ЗНС отдельных выработок остаются практически неизменными.

2. При малых углах наклона поверхностей ослабления (рис. 1 (а – в)) не происходит разрушения целиков между выработками.

3. Разрушение целиков начинается с угла $\alpha=22^\circ$ (рис. 1 (г)).

4. Увеличение коэффициента сцепления уменьшает размеры ЗНС и повышает устойчивость целиков (рис. 1 (д)), при $\alpha\geq32^\circ$ снова начинается их разрушение (рис. 1 (е)).

5. Размер устойчивого целика с двумя системами поверхностей ослабления, одна из которых имеет угол наклона 45° , превышает пролёт выработки даже при сравнительно прочном массиве (рис. 1 (ж)).

6. Две системы поверхностей ослабления приводят к потере устойчивости целика, размер которого в два раза превышает пролёт выработок и это должно учитываться при их сооружении (рис. 1 (з)).

7. Минимальный размер устойчивого целика с двумя системами поверхностей ослабления составляет 2,5 пролёта (рис. 1 (и)).

Анализ этих результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Применение модели обеспечивает наиболее полное исследование устойчивости и целиков массива с регулярной прочностной анизотропией, вмещающего систему протяжённых горизонтальных параллельных горных выработок.

2. При проведении системы выработок в углеродном массиве необходим учёт ориентации поверхностей ослабления, которая играет решающую роль в оценке устойчивости целиков.

3. Моделирование нарушенности и устойчивости массива в окрестности системы выработок, проводимых по геотехнологии HIGHWALL, показало, что одна система пологих поверхностей ослабления не приводит к разрушению целиков, размер которых не превышает полпролёта выработки. В массиве с двумя системами поверхностей ослабления, на которых коэффициент сцепления равен нулю и одна из систем имеет угол падения более 30° , минимальный размер устойчивого целика составляет 2,5 пролёта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Walker S. Highwall Miners Keep the Coal Flowing. / World Coal. December 2001 – v. 10, № 12. p. 20–27.
2. Обоснование геомеханических параметров выемки угля с применением комплексов глубокой разработки пластов (КГРП) /А.Г. Нецветаев, Л.Н. Репин, А.В. Соколовский, А.В. Кучеренко // «Уголь».–2005.–№ 5.–С. 66–68.
3. Первый российский опыт применения технологии глубокой разработки угольных пластов: устойчивость массива и потери угля в недрах / А.Г. Нецветаев, Л.Н. Репин, А.В. Соколовский, А.В. Юткин // «Уголь».–2004.–№ 12.–С. 10–12.
4. Применение системы HIGHWALL для выемки угля с уступа разреза (краткий обзор работ в США и Австралии) //ОГР.–2000.–№ 2.–С. 54–56.
5. Черданцев Н.В., Изаксон В.Ю. Некоторые трёхмерные и плоские задачи геомеханики. - Кемерово: КузГТУ, 2004.-190 с.
6. Черданцев Н.В. Геомеханическое состояние массива горных пород с поверхностями ослабления в окрестности комплекса протяжённых горизонтальных выработок / Н.В. Черданцев, В.А. Федорин //Вест. КузГТУ.–2006.–№ 1.–С. 17–19.

□ Авторы статьи:

Черданцев

Николай Васильевич

- канд.техн.наук, старший научный
сотрудник Института угля и углехими-
мии РАН

Федорин

Валерий Александрович

- докт.техн.наук, зав. лаб. геотехно-
логии освоения угольных месторож-
дений Института угля и углехими-
мии РАН

Преслер

Вильгельм Теобальдович

- докт.техн.наук, ведущий научный
сотрудник Института угля и углехи-
мии СО отделения РАН