

УДК 622.031

*В.А. Матвеев***ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КРОВЛЕЙ ПЛАСТОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
НА ВЫЕМОЧНОМ УЧАСТКЕ***

Выемочный участок разрабатываемого пластового месторождения (в основном – угольных пластов) представляет собой сложную систему для описания геомеханических процессов в массиве горных пород, и прежде всего в кровле обрабатываемого пласта.

Здесь присутствуют и оказывают взаимное влияние как области континуального состояния массива горных пород, в которых могут находиться подготовительные выработки с локальными объемами нарушения сплошности (рис. 1, структура К) так и области дискретно – динамических процессов, возникающих над выработанным пространством (рис. 1, структура Д). Необходимость учета различия физического состояния среды горных пород кровли в области континуума впереди очистного забоя и над призабойным пространством, где нарушается сплошность и большую роль играет кинематика и динамика взаимодействия изламываемых блоков между собой, крепью и обрушенными породами, была обоснована в работах, посвященных геомеханическим процессам в кровле движущегося очистного забоя [1, 2]. Только на основе нового концептуального подхода к решению этой задачи, учитывающего различный характер формирования проявлений горного давления в этих областях удалось разработать теоретическую базу и математическую модель геомеханических процессов, адекватно отражающую динамику реальных проявлений горного давления в движущемся очистном забое, которая известна по результатам представительных натуральных наблюдений.

Практически во всех известных теоретических исследованиях напряженно-деформированного состояния пород вокруг подготовительных выработок в качестве исходного прини-

мается сплошной массив, в котором под влиянием проводимой выработки происходит возмущение геостатического напряженного состояния, приводящее к нарушениям сплошности пород в локальной области. Известны математические модели развития этих процессов, в том числе с учетом особенностей охраны и поддержания выработок, но во всех случаях в качестве критерия возможности нарушения сплошности пород принимается уровень и ориентировка главных напряжений, определяемых исходя из начально континуального состояния массива. Такой путь решения задачи приемлем для капитальных и основных подготовливающих выработок, которые охраняются угольными или породными целиками достаточных размеров, при которых практически исключается влияние обрушения и оседания массива пород кровли пласта над выработанными пространствами.

Подготовительные выработки на выемочном участке, как указывалось выше, находятся в непосредственной близости к выработанному пространству очистного забоя и могут подвергаться действию резко переменных дополнительных, моментных нагрузок от зависающих консолей слоев кровли. Этим объясняются частые случаи скоротечного задавливания значительных участков выработок с частичными «завалами», описать и строго объяснить происхождение которых с позиций континуума невозможно.

Для решения проблемы управления горным давлением в выработках выемочного участка пластового месторождения в общем смысле необходимо прежде всего выявить типичные схемы расположения выработок в зонах различного структурного состояния вмещающих пород и сформулировать основные принципы определения границ та таких зон.

*При финансовой поддержке Минобразования РФ по гранту Т02 – 04.1 – 1803

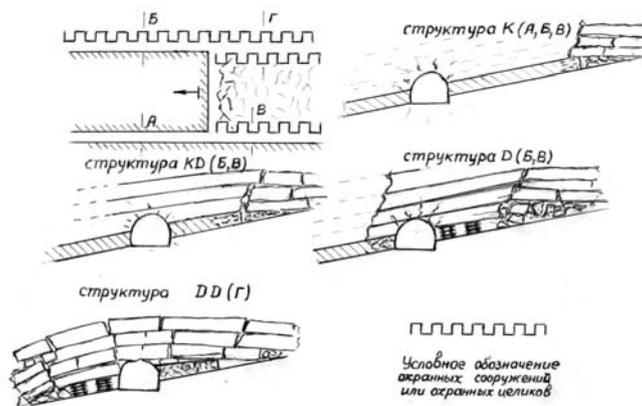


Рис. 1. Возможные схемы структурных состояний пород кровли в окрестности подготовительных выработок выемочного участка пластового месторождения

Основным признаком для отнесения области расположения подготовительных выработок к зоне континуума (условно обозначим как структуру К) является отсутствие нарушений естественной сплошности пород под влиянием внешних факторов: естественного напряженного состояния, опорного давления от соседних выработок и выработанных пространств.

Такая зона существует при расположении выработок в нетронutom массиве или при ее охране целиками больших размеров, близких к размерам зоны опорного давления вблизи выработанного пространства. Целики таких размеров рекомендуются отраслевыми нормативными документами для охраны капитальных и основных подготовительных выработок. В практике ведения горных работ на выемочных участках также могут оставаться целики больших размеров, но, как правило, существенно меньших в сравнении с рекомендуемыми для капитальных и основных подготовительных выработок. Поэтому вопрос о том, к какому типу относится область нахождения выработки в конкретном случае и где проходит граница континуального состояния породного массива, является актуальным. Решение этого вопроса должно базироваться на определении размера отжатой зоны целика со стороны выработанного пространства и положения линий излома слоев кровли над этим пространством. Область расположения подготовительной выработки можно считать континуальной (рис. 1, структура К), если ближайшая граница изломов слоев кровли отстоит от контура поперечного сечения выработки не менее чем на 4 радиуса (полупролета) этого сечения.

Для определения размера отжатой зоны угольного целика и деформаций пород в ее

пределах следует воспользоваться решениями, выполненными в работах [3, 4].

Особого рассмотрения требует область расположения выработки, охраняемой массивом и целиком ограниченных размеров, в которой произошло частичное нарушение сплошности массива за счет расслоения структуры кровли без разрыва сплошности самих слоев. Эта схема (рис. 1, КД) реализуется, когда происходят изгибные деформации слоев кровли над частично отжатым целиком, приводящие к расслоению структуры кровли, но недостаточные для нарушения сплошности в местах их заделки над массивом угольного пласта.

В этой схеме будут наблюдаться периодические изменения структуры среды и динамика силовых схем формирования напряженного состояния пород в окрестностях выработки.

Наконец, наиболее характерным структурным состоянием массива пород вокруг выработок выемочного участка является их дискретно-динамическая структура (Д). При этом над выработкой образуется дискретная среда в виде плит, линии излома которых находятся за зоной отжима нетронутой части массива вследствие значительной податливости охранных сооружений или разрушенных целиков в стороне выработанного пространства.

Возможна также схема, отражающая структурное состояние массива, когда имеет место полная потеря связи слоев кровли с нетронутым массивом с двух сторон выработки (схема ДД).

В настоящей статье поставлена задача сформулировать методические подходы к составлению силовых схем и граничных условий для областей массива горных пород с рассмотренными выше структурными состояниями пород кровли угольного пласта.

Для случая расположения выработки в континуальном массиве (К) существует корректное решение задачи о смещениях массива на контуре выработки и ожидаемых нагрузках на крепь через определение размера области не-

упругих деформаций и удовлетворение условий их совместности на границе с линейнодеформирующимся массивом [5,6]. Не вдаваясь в детали методики и математического аппарата решения этой задачи, приведем конечные формулы:

$$\Gamma_L = \left[\frac{1 - \sin \rho}{p + K' \operatorname{ctg} \rho'} (\gamma H + K \operatorname{ctg} \rho) \right]^\alpha \quad \alpha = \frac{1 - \sin \rho'}{2 \sin \rho'}$$

$$u = \frac{R_0}{4\alpha G'} (p + \operatorname{ctg} \rho') \Gamma_L^{\frac{1}{\alpha} + 2}, \text{ где}$$

где R_0 – радиус выработки, м; Γ_L – безразмерный радиус области неупругих деформаций ($\Gamma_L = \frac{R_L}{R_0}$); γ – объемный вес пород, kH/m^3 ; H –

глубина расположения выработки, м; K' – остаточное сцепление пород в зоне неупругих деформаций, kH/m^2 ; ρ' – угол внутреннего трения пород в зоне неупругих деформаций; G' – модуль сдвига пород в зоне неупругих деформаций, kH/m^2 ; p – сопротивление крепи, kH/m^2 ; u – смещение пород на контуре выработки.

При использовании этого решения в условиях выемочного участка, когда выработки в массиве или с охраной целиками угля больших размеров подвергаются динамике изменений напряженного состояния при приближении очистного забоя, необходимо обеспечить учет этих изменений путем ведения условной зависимости оператора вертикальных напряжений (γH) от коэффициента их концентрации по отношению к уровню геостатических и изменений соотношения главных напряжений σ_2 и σ_1 .

В случае частичного нарушения сплошности пород кровли за счет расслоения без потери связи слоев с массивом (КД) требуется анализ развития процессов деформации слоистой толщи при ее взаимодействии с податливым целиком. Если ожидаемые деформации от прогиба наиболее мощных слоев не приведут к

разрыву их сплошности в области защемления в массиве, то допустимо использование решения для схемы К в континуальной среде с дополнительной корректировкой смещений, учитывающей величину прогиба расслоившейся

Рис. 2. Возможные линии разломов плит основной кровли при движении очистного забоя

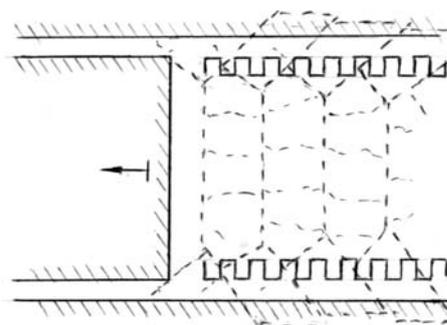
пачки пород. Если же произойдет излом наиболее мощных слоев в месте заделки, то необходимо решать задачу для дискретного состояния массива с учетом передачи моментных нагрузок и взаимодействия блоков с раздавленным целиком и обрушенными породами.

Последний вариант трансформации структуры массива пород кровле в схеме КД отражает ее и в случае схемы Д. Основной предварительной задачей при построении модели дискретно-динамического воздействия пород кровли на поддерживаемую выработку в этом случае является определение шага излома толщи основной кровли в направлении движения очистного забоя, а также положения и формы границы между континуальной и дискретной структурами пород кровли (рис. 2).

Переход структуры массива кровли из континуума в дискретное состояние происходит по мере движения очистного забоя в области его сопряжения с подготовительной выработкой.

Для определения линий разрушения в зависимости от структуры и физико-механических свойств пород основной кровли в силу особенностей задачи на отслеживание предельных состояний наиболее целесообразно по условию простоты и допустимой корректности использовать кинематический способ, разработанный применительно к расчету бетонных плит [7].

Указанный способ предполагает рассмотрение кинематически возможных схем расчленения плит и отыскание той схемы, в которой ее реализация происходит при наименьших нагрузках, и далее определяются эти предельные нагрузки. В строительной механике выбор наиболее вероятной схемы расчленения плиты под действием предельных нагрузок при заданных условиях закрепления самой плиты производится на основе опытных данных. В частности предполагается, что плита в стадии предельного равновесия расчленяется на от-



Характеристики расчетных схем и задач геомеханики кровли на выемочном участке

Схема	Краткая характеристика	Типичные места расположения	Использование готовых решений	Постановка задач и необходимые решения
К	Охрана массивом или целиками больших размеров	Транспортные штреки или ходки впереди очистного забоя и с охраной «массив – целик» за очистным забоем	Решения на основе гипотезы образования области неупругих деформаций в континуальной среде	Учет концентрации вертикальных напряжений в зонах влияния опорного давления
КД	Частичное расслоение кровли без потери сцепления с массивом	Транспортные штреки или ходки с охраной целиками уменьшенных размеров	Или решение по схеме «К». Или решение по дискретно-динамической схеме определения смещений и нагрузок на крепь	Определение возможности или невозможности потери сцепления расслоившейся кровли с массивом. Определение линий максимальных изгибающих моментов и прогибов слоев
Д	Расслоение кровли с потерей сцепления с массивом на линии излома	Транспортные и вентиляционные штреки или ходки искусственными охранными сооружениями или целиками малых размеров с одной стороны и массивом с другой стороны	Решение по дискретно-динамической схеме определения смещений пород и нагрузок на крепь	Уточнение характеристик взаимодействия условно свободных границ плиты кровли с ранее обрушенными блоками. Определение линий излома очередных блоков кровли при движении очистного забоя
ДД	Нарушение сплошности пород кровли с расслоением и разделением на блоки с двух сторон выработки	Вентиляционные штреки или ходки, охраняемые с искусственными сооружениями или целиками весьма малых размеров с двух сторон выработки	Гипотеза сводообразования	Выбор и развитие теоретического решения на базе гипотезы сводообразования, в частности, в направлении расширения основания свода в сравнении с реальной шириной выработок

дельные участки («диски»), соединенные между собой по линиям излома линейными пластическими шарнирами. При заданной схеме излома и характере нагрузки интенсивность последней, соответствующая несущей способности плиты, определяется из равенства работ внешних сил и предельных внутренних усилий (моментов) в линиях излома на бесконечно малых возможных перемещениях. Уравнение работ, в котором бесконечно малые перемещения представлены через конечные скорости перемещения ($dl = ydt$), в общем случае действия сосредоточенных и распределенных нагрузок имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n p_i y_i + \int_F p y dF = \sum_{k=1}^m M_k \Phi_k$$

где p_i – величина предельных сосредоточенных нагрузок; p – интенсивность предельной распределенной нагрузки; y и y_i – скорости возможных перемещений точек плиты; F – площадь участка плиты с распределенной нагрузкой; M_k – предельный изгибающий

момент вдоль линии излома; Φ_k – скорость взаимного поворота участков плиты по линии излома.

При использовании рассмотренного метода для выбора наиболее вероятной схемы нарушения сплошности слоев основной кровли в районе сопряжения выработки с очистным забоем есть существенные особенности.

Во-первых, можно считать, что сосредоточенные нагрузки на плиту породного слоя отсутствуют, и она нагружена только распределенной нагрузкой от веса собственного и частично – от вышележащих активных слоев. Общее уравнение работ при равномерно распределенной нагрузке упрощается:

$$pV = \sum_{j=1}^m M_j \theta_j \cos(M_j \theta_j),$$

где $V = \int_F y dF$ – объем, описанный при виртуальном перемещении частью плиты, на которую действует равномерно распределенная нагрузка; M_j – равнодействующая погонных пре-

дельных моментов, действующих на j -тый сектор плиты; θ_j – угол поворота j -того сектора вокруг оси вращения.

Во-вторых, схема опоры плиты по ее контуру отличается от типовых схем закрепления строительных плит, по которым есть решения для оценки прочности.

Закрепление края плиты по линии предыдущего излома имеет сложный характер из-за взаимодействия с предыдущими обрушившимися блоками. Этот вопрос требует специального рассмотрения. На участках с четко реализовавшейся границей изломов слоев кровли параметры нагрузок на охранные сооружения и крепь выработки и смещений кровли в местах их расположения должны определяться на основе теоретических положений дискретно-

динамического взаимодействия с новым подходом [1, 2].

Таким образом, проблема разработки геомеханики кровли пластового месторождения на выемочном участке является многовариантной, требующей решения ряда задач с разными исходными силовыми схемами при контитуальном, дискретно-динамическом и переходном состояниях массива горных пород. В этом общем комплексе задач есть уже частично решенные, но большая часть требует своего решения или существенного уточнения предыдущих попыток.

Для более ясного представления о целях и задачах общего решения проблемы геомеханики кровли пластового месторождения на выемочном участке приведена таблица, в которой отражены типовые ситуационные схемы, а также связанные с ними цели и задачи исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев В.А. Геомеханика кровли угольного пласта в очистном забое. Эффективная и безопасная добыча угля на базе современных достижений геомеханики». Тр. международ. конф. /ВНИМИ, 17-21 июня 1996 г – СПб, 1996 с.271-275.

2. Матвеев В.А. Концептуальный подход к решению задачи прогнозирования проявлений горного давления в очистном забое. (При финансовой поддержке Минобразования РФ по гранту ТОО 4.1 –2753) ГИАБ №4 2002. – М.: Изд. МГТУ. – С. 126-130.

3. Матвеев В.А., Матвеев А.В., Мосяков В.А., Феоктистов В.М. Напряженно-деформированное состояние пород кровли и пласта в зоне опорного давления дви-

жущегося очистного забоя. ГИАБ №: 8 2001., – М.: Изд. МГТУ. – С. 91-97.

4. Матвеев В.А., Матвеев А.В. Определение смещений кровли в области опорного давления и отжима пласта в очистном забое. (При финансовой поддержке Минобразования РФ по гранту ТОО 4.1 – 2753). ГИАБ №2 2003. – М.: Изд. МГТУ. – С. 19-21

5. Руппнейт К.В. Некоторые вопросы механики горных пород.– М.: Углетехиздат, 1954. – С. 137–190).

6. Руппнейт К.В. Механические свойства горных пород. – М.: Углетехиздат, 1956. – С. 168–198.

7. Справочник по теории упругости. Под ред. Варвака П.М. и Рябова А.Ф. Будивельник. Киев. 1971. – С. 286-308.

Коротко об авторах

Матвеев Валентин Александрович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Шахтинский институт ЮРГТУ (НПИ).



