

УДК 622.270: 622.273

Ю.А.Пивень, А.С.Гребёнкина

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ВЕДЕНИИ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

У статті показані наслідки експериментальних досліджень та аналітичної оцінки закономірностей обвалення порід покривлі при очисній виїмці вугілля на глибинах більш ніж 1000м.

В статье показаны результаты экспериментальных исследований и аналитической оценки закономерностей обрушения пород кровли при очистной выемке угля на глубинах более 1000 м.

In the article the results of experimental researches and analytical estimation of conformities to the law of bringing down of rocks of roof are shown at the cleansing coal extraction of coal on depths more than 1000 meters.

Для обоснования и выбора параметров эффективных технологий выемки крутых пластов на больших глубинах необходимы оценки структурных изменений в угольном массиве и в приконтурных областях очистного забоя. В угольном пласте были проведены наблюдения за структурными изменениями, которые он претерпевает под влиянием горных работ. Параллельно такие же наблюдения проведены во вмещающих пласт породах. При этом была исследована структура слагающих горный массив пород и ее изменения под влиянием очистных работ. Для этого проводили визуальные, с помощью горного компаса, наблюдения за трещиноватостью угольных и породных обнажений на стенках выработок и скважин. Наблюдения были

выполнены на шахтах Донбасса в забоях, проводимых в нетронутом массиве подготовительных выработок. Исследования структурных изменений проводили в стенках выработок и скважин, расположенных в зонах влияния очистных работ.

Наблюдения показали наличие в угле и породах трещин, имеющих различную протяженность, частоту, пространственную ориентацию, ширину раскрытия и различное содержание мелкоизмельченного заполнителя. Вблизи контура выработок трещиноватость пород значительно отличается от существующей в окружающем массиве. Поэтому был принят дифференцированный подход к оценке структурных изменений в массиве и приконтурных областях. Обобщение наблюдений за трещинами в керновом материале показало следующее. В нетронутой очистными работами толще пород можно выделить слоевые трещины, торцовые и экзокливажные. Установлено, что, чем выше прочность породы и мощность слоя, тем больше расстояние между трещинами. В угольных пластах трещиноватость значительно выше, чем во вмещающих породах. Кроме того, на трещиноватость оказывает влияние текстура пород.

В скважинах, пробуренных в плоскости напластования пород по линиям падения и простирания в слоях прочного песчаника, расстояние между трещинами в кернах составляло 1,2-1,5м. Это в 6-10 раз больше, чем в нормальном к напластованию направлении. Прочные породы менее подвержены структурным изменениям и в большей степени сохраняют свойства упругой среды. Угли и малопрочные породы переходят в качественно иное состояние, обусловленное многократным увеличением трещиноватости и превращением слоев в совокупность отдельных, сохранивших текстуру кусков, окруженных мелкодисперсными частицами.

На основе обобщения собственных наблюдений и материалов горнотехнической литературы картина трещиноватости пород в нетронутой очистными работами толще представляется следующим образом.

Кливажные трещины имеют падение примерно нормальное или под острым углом к напластованию. Простираание эндокливажных трещин близко к меридиональному, экзокливажные - простираются параллельно направлению характерных для данного района тектонических нарушений. Торцовые трещины имеют также нормальное к напластованию падение, а простираание - перпендикулярно эндокливажному. Слоевые, или трещины осадконакопления, простираются вдоль плоскостей напластования.

Расстояние между трещинами кливажа или торцовыми зависит от мощности и прочности слоев пород. В среднем оно составляет для углей 0,01 -0,05 м, аргиллитов 0,02-0,8 м, алевролитов с глинистым или известняковым цементом, соответственно 0,01-0,06 и 0,6-3 м, песчаников 0,2-2 м и более. Показатель трещиноватости (отношение расстояния между трещинами к мощности слоя) изменяется почти от 0 до 200. В большинстве случаев этот показатель для разных пород имеет среднее значение близкое к 2. Ширина раскрытия эндогенных трещин составляет 10^{-5} - 10^{-3} м, экзогенных – 10^{-9} - 10^{-6} м. Протяженность слоевых трещин изменяется от 10^1 до 10^8 м, всех остальных – 1 -10 м.

Таким образом, трещины разбивают нетронутую очистными работами толщу пород на призматические блоки, то есть придают ей структуру дискретной среды. Расчеты на основе теории дискретных сред показывают, что на контактах блоков весьма вероятно отклонение действующих напряжений на 40-100% и более от среднего уровня. На глубине около 1000 м, где средний уровень геостатических напряжений равен примерно 25 МПа, возможны концентрации напряжений до 40 МПа и более, что соизмеримо с прочностью большей части слагающих массив пород. Это значит, что небольшое увеличение среднего уровня напряженного состояния неизбежно приведет к разрушению пород в местах высокой концентрации, поскольку отдельные участки среды находятся в предельном состоянии.

При ведении очистных работ повышается уровень напряженного состояния массива и в породах появляются так называемые трещины горного давле-

ния. Эти трещины оконтуривают очистную и примыкающие к ней подготовительные выработки, угол падения их 40-90°. Частота трещин горного давления по мере удаления от пласта уменьшается, то есть они локализируются в некоторой зоне.

Расстояние между трещинами горного давления l (мм), в основном, зависит от глубины разработки H (м) и предела прочности пород почвы пласта одноосное сжатие $R_{сж}$ (МПа).

Наиболее активное зарождение трещин происходит в области максимальных значений опорного давления. Во вмещающей пласт толще под влиянием очистных работ, помимо образования трещин горного давления, происходит расслоение пород и разделение трещинами пластовых отдельностей. Кроме того, увеличивается длина и изменяется ширина раскрытия ранее существовавших трещин кливажа. Наличие трещин и изменение их параметров в процессе отработки пласта существенно влияют как на показатели физико-механических свойств пород вмещающей его толщи, так и на химическую активность угля.

Наличие трещин и возникновение новых определяет изменение прочностных, упругих (деформационных), фильтрационных показателей горного массива. В [1] представлены их значения, рассчитанные нами по известным зависимостям. Там же показано, что увеличение объема блочной упорядоченной среды под действием горных работ, в среднем не превышает 3-5%, максимальный коэффициент трещинной пустотности вблизи обнаженных поверхностей углей и пород составляет не более 20-25%. Поэтому фильтрационные характеристики, разрушенных трещинами пород, весьма невелики.

Представленные результаты исследования [1] структуры разрабатываемых угольных пластов и вмещающих их пород Донецкого бассейна характерны преимущественно для условий ведения горных работ на глубинах более 400 м при разной стадии метаморфизма породных массивов.

Следует отметить, что качественно подобные данные были получены зарубежными исследователями на немецких и английских шахтах [2].

Для определения размеров разнообразных зон, образующихся при выемке пологих, крутых и наклонных пластов, проведены исследования сдвижений подрабатываемой толщи на моделях из эквивалентных материалов.

Структурно-деформационные свойства угленосного массива классифицировали согласно методике ДонУГИ по категориям обрушаемости и устойчивости. Количественным критерием классификационного признака обрушаемости массива служила величина опускания кровли и пределы ее изменчивости. Средние величины удельной конвергенции для различных категорий пород и коэффициенты ее вариации приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики массивов пород

Категория пород по обрушаемости	Индекс категории	Средняя величина конвергенции a , %	Диапазон изменения конвергенции a , %	Коэффициент вариации конвергенции, %
Легкообрушаемые	A_1	4,0	2,0-5,0	$K < 15$
Среднеобрушаемые	A_2	2,5	2,0-5,0	$15 < K < 30$
Труднообрушаемы	A_3	1.5	0,5-5,0	$30 < K < 50$
Весьма труднообрушаемые	A_4	< 1,5	0.0-5,0	$K > 50$

Количественными критериями для классификационного признака устойчивости B служит высота нижнего слоя кровли B и расстояние между трещинами G в нем. Данные о параметрах устойчивости пород приведены в табл. 2.

Характеристика пород по устойчивости нижнего слоя кровли

Категория пород по устойчивости	Индекс категории	Диапазон изменения высоты нижнего слоя B , м	Диапазон изменения расстояния между трещинами G , м	Зависание пород кровли D , м
Весьма неустойчивые	B_2	0,01-0,20	0,05-0,10	0,0
Неустойчивые	B_2	0,05-0,30	0,10-0,40	0,0
Малоустойчивые	B_3	0,10-0,50	0,30-0,60	< 2,0
Средней устойчивости	B_4	0,20-0,70	0,50-1,00	< 5,0
Устойчивые	B_5	0,50-2,00	> 1,00	> 5,0

Для оценки деформаций угольного пласта и образования при этом мелкоизмельченного угля, а также определения размеров зависания кровли в выработанном пространстве, в лаборатории геомеханики ДонУГИ была изготовлена и отработана модель из эквивалентных материалов. В ней воспроизводились условия интенсивной (не менее 1000 т/сут.) отработки на глубине 1000 м пласта мощностью 1,6 м. Исследовалось поведение пород в вертикальной плоскости, проходящей через середину лавы. В результате установлено, что мощность обрушающихся пород кровли зависит от категории горных пород кровли и развития очистных работ в выемочном поле. Она изменялась от 1-2 до 9 мощностей пласта, при обрушениях непосредственной кровли, и до 20 мощностей и более, при обрушениях основной кровли.

Зона полных сдвижений пород, возникновение которой обусловлено обрушением пород основной кровли, прослеживается на высоту около 70 мощностей пласта и более с постепенным затуханием по мере удаления от пласта.

Размер полости b_3 , образовавшейся после выемки пласта и разделяющей зоны плавных прогибов и полных сдвижений пород, складывается из ширины

лавы b_l и величины консоли зависших позади нее пород кровли. Величина консоли переменная, она изменяется от максимальной, равной шагу посадки (обрушения) основной кровли для конкретного типа породного массива $Ш_n$, до минимальной, то есть:

$$b_l + Ш_n \geq b_3 \geq b_l. \quad (1)$$

В зависимости от фазы развития очистных работ в пласте и типа массива по обрушаемости величина $Ш_n$ может достигать 30 м и более.

В глубине выработанного пространства зона ограничена, с одной стороны поверхностью разлома и отрыва от массива подработанных горных пород кровли пласта в зоне плавных прогибов, а с другой стороны поверхностью обрушившихся пород кровли, находящихся в зоне полных сдвижений.

Высоту зоны h_{ce} рассчитывают из условия разрыхления обрушенных пород на величину мощности пласта, с учетом малой величины коэффициента бокового распора разрушенных пород, из выражения [1]:

$$h_{ce} = \frac{m}{k_p - 1}, \quad (2)$$

где k_p – коэффициент разрыхления пород в зоне полных сдвижений (по данным моделирования, $k_p \approx 1,05-1,21$).

Таким образом, высота зоны после выемки пласта мощностью 1 м составит $h_{ce} = 33-50$ м, ее наклонная длина равна гипотенузе прямоугольного треугольника, одним из катетов которого является h_{ce} :

$$l_{ce} = \frac{h_{ce}}{\sin \Psi}. \quad (3)$$

Текущее значение ширины раскрытия зоны, расположенной в выработанном пространстве, определяется с учетом расстояния от лавы и зависимостей (2) и (3).

Протяженность L зоны в выработанном пространстве, таким образом, складывается из ширины лавы b_z , наклонного клиновидного участка длиной l_{ck} , а также расположенного между ними участка зависшей кровли, размер которого изменяется в процессе движения забоя и находится в пределах от 0 до $Ш_n$:

$$L = b_z + Ш_n + l_{ck} . \quad (4)$$

Таким образом, исследованиями установлена закономерность обрушения кровли пласта. После разрушения консоли отколовшаяся часть опирается почву или нижележащие породы удаленным от забоя концом, а ближний, как правило, сохраняет силовую связь со своим слоем. Полная осадка блока происходит после нескольких циклов выемки угля.

Список литературы

1. Проведение и эксплуатация горизонтальных горных выработок на шахтах с крутым и наклонным залеганием угольных пластов /Гребёнкин С.С, Янко СВ., Булат А.Ф. и др., Донецк: Регион, 2001, 410 с.

2. Эколого-технологические проблемы безопасной отработки угольных месторождений /Гребёнкин С.С, Иванов И.Ф., Булгаков Ю.Ф. и др., Донецк: ДонНТУ, 2004, 256 с.