

теми или иными характеристиками.

Рассмотренный параметр  $M_v$ , определяемый по (5), в дальнейшем может использоваться для определения интенсивности пригрузки на анкерную стяжную крепь от вывалообразования, а параметр  $M_e$ , определяемый по (6), может быть использован при выборе шага АСК. Эти параметры могут также использоваться при компьютерном моделировании процесса вывалообразования.

**УДК 622.83.001.57:622.276.55**

Р.А. Дякун

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ РАЗГРУЗКИ В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ ВОКРУГ ДВИЖУЩЕГОСЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ**

У роботі викладене моделювання формування динамічної області розвантаження, у вуглепородному масиві, над і під розроблювальним вугільним пластом за вибоєм лави, що рухається.

## **THE MODEL OPERATION OF FORMING DYNAMIC FIELD RELIEF IN A ROCK MASS AROUND PROPELLED STOPE**

In work the model operation forming of propellented field relief of a rock mass above and under a developed bench coal behind of propellented stope of longwall enunciated.

Современные рыночные отношения требуют от всех участников экономической деятельности высокой эффективности производства, а именно: конкурентоспособность производимого товара на рынке услуг, его высокое качество, низкая себестоимость, минимальные вложения в капстроительство, малые энергозатраты, низкая трудоемкость, высокая наукоемкость производства и т.д.

Отечественные флагманы угледобычи, такие как шахта им. А.Ф. Засядько, шахта Красноармейская-Западная №1, шахта Краснолиманская, являются примером того, что можно даже в самых сложных горногеологических условиях добывать уголь высоконагруженными лавами на больших глубинах по выбро-соопасным и высокогазоносным пластам и углепородном массиве горных пород. Но и на предприятиях – флагманах остаются нерешенными проблемы, связанные с опасностью протекания газодинамических явлений и ограничением нагрузки на очистной забой по газовому фактору, что приводит к невозможности максимального использования проектных мощностей современных очистных комплексов.

Ограничения нагрузок на лавы главным образом связано, как это показано в работах [1, 2], с поступлением метана из окружающих разрабатываемый пласт газонасыщенных горных пород, что происходит из-за изменения напряженно-деформированного состояния массива в результате образования пустот при выемке угля. Так же в работе [2] отмечено, что газовыделение главным образом происходит при активном развитии процессов сдвижения углепородного массива вокруг забоя лавы. Автором ставится задача по изучению процессов в уг-

лепородном массиве пологих пластов в условиях центрального Донбасса на больших глубинах вокруг движущегося очистного забоя с использованием теории сдвига горных пород [3-5] и геомеханики газонасыщенных пород [6, 7] для получения новых представлений о процессах, происходящих в газонасыщенном углепородном массиве при ведении очистных работ.

Для примера рассмотрим в условиях центрального Донбасса одиночный движущийся очистной забой по простиранию с углом падения пласта  $10^\circ$ .

В работе [3] продолжительность  $T$  процесса сдвига предложено определять по формуле (1):

$$T = \frac{H(ctg\delta_0 + ctg\psi_3)}{c}, \quad (1)$$

где  $H$  – глубина разработки, м;  $\delta_0$  – граничный угол сдвига, град.;  $\psi_3$  – угол полных сдвижений, град.;  $c$  – скорость подвигания очистного забоя, м/сут.

В руководстве [1] говорится об интенсивной газоотдаче из сближенных газонасыщенных пород в зоне частичной разгрузки. По восстанию и падению эта зона ограничивается от нетронутого массива углами разгрузки, а по простиранию начинается на некотором расстоянии позади очистного забоя и подвигается вслед за ним. Угол между плоскостью напластования разрабатываемого и граничной плоскостью начала разгрузки подрабатываемого массива, проведенной вдоль линии очистного забоя, составляет в зависимости от крепости, мощности слоев и литологического состава пород от  $50$  до  $85^\circ$ .

Сдвигение массива горных пород ограниченного углами  $\delta_0$  и  $\psi_3$  развивается одновременно с подвиганием линии очистного забоя, т.е. при рассмотрении движущегося забоя лавы углы  $\delta_0$  и  $\psi_3$  неизменны во времени. То же можно сказать и для углов  $\psi_1, \psi_2, \gamma_0, \beta_0$ .

Рассмотрим эпюры горного давления в углепородном массиве вокруг очистного забоя на вертикальном разрезе по простиранию вдоль подвигания лавы в соответствии с работами [3, 6] (рис. 1) при условии неполной подработки. Очистной забой на рисунке отмечен точкой А, из которой проведена линия АZ под углом  $\delta_0$  к напластованию горных пород, и линия АХ под углом  $\psi_3$ . Из практики ведения горных работ [6] известно, что впереди очистного забоя лавы на расстоянии 60-80 м по разрабатываемому пласту в углепородном массиве, как в почве, так и в кровле, формируется зона повышенного горного давления (ПГД). Данная зона на рис. 1 околнурена фигурой АКМНОВА, которая геометрически определена следующим образом. Зная расстояние АN и тот факт, что проявление процесса перераспределения горного давления на земной поверхности начинается в точке Z, можно предположить, что фронт начала формирования зоны ПГД будет проходить в плоскости, образующей которой является линия MN. Линия FM является границей развития в кровле разрабатываемого пласта

области разгрузки АРНК. По формуле (2) можно найти угол  $\delta_3^{II.KP}$  фронта формирования зоны ПГД для углепородного массива расположенного впереди очистного забоя над плоскостью разрабатываемого угольного пласта

$$\delta_3^{II.KP} = \arctg\left(\frac{H}{H \cdot ctg\delta_0 - (AN)}\right), \quad (2)$$

Подобным образом определяется угол  $\delta_3^{II.П}$ , который характеризует фронт развития зоны ПГД для углепородного массива, находящегося в почве разрабатываемого угольного пласта.

Рассмотрим процесс изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) в подработанном массиве горных пород. В работе [6] представлена закономерность изменения горного давления позади очистного забоя, где говорится, что за механизированной крепью в выработанном пространстве на некотором расстоянии АР (рис. 1) происходит прямо пропорциональное изменение горного давления со значения полной разгрузки до полного восстановления геостатического соответствующей глубины, и затем в пределах интервала РЕ возникает реакция подработанного массива в виде образования зоны ПГД. В выработанном пространстве, в направлении от точки Е к точке V происходит восстановление горного давления до значения нормального геостатического для данной глубины разработки, равного  $\mathcal{H}$ . Как следует из формулы (1) перераспределение горного давления, проявляющееся в процессах сдвижения и деформирования земной поверхности над выработанным пространством лавы, оконтуривается на земной поверхности линией, проведенной под углом  $\psi_3$  к напластованию массива горных пород от краевой части угольного пласта, что показано на рис. 1 линией АХ. Отсюда следует, что аномалии горного давления, связанные с ведением очистных работ в углепородном массиве, распространяются на подрабатываемый массив горных пород вплоть до Земной поверхности. Зная расстояние АЕ для данных месторождения и технологии ведения горных работ, можно определить из формулы (3) угол  $\varphi_3^{II}$ , характеризующий границу между областями массива горных пород, находящихся в различном напряженно-деформированном состоянии.

В связи с выявленными закономерностями в теории сдвижения горных пород о стохастичности процессов сдвижения горных пород над движущимся очистным забоем следует, что если провести из точек Р и А линии РН и АК соответственно, параллельные линии ЕF, в связи с процессом перераспределения НДС вплоть до земной поверхности, следует, что плоскость параллельная линии очистного забоя и проходящая по линии НР, представляет границу перехода подработанного массива горных пород из состояния разгрузки в состояние пригрузки. Плоскость параллельная линии очистного забоя и проходящая по линии АК представляет собой границу перехода подрабатываемого массива горных пород из состояния пригрузки в состояние разгрузки, но только в пределах границы проведенной параллельно

плоскости напластования массива горных пород на расстоянии  $YH$ , по нормали к разрабатываемому пласту. Данная граница характеризует предел развития области разгрузки в выработанном пространстве лавы.

$$\varphi_3^{\text{II}} = \arctg\left(\frac{H}{H \cdot \text{ctg}\psi_3 - (AE)}\right), \quad (3)$$

Также в подрабатываемом массиве горных пород при ведении очистных работ существует область ПГД, показанная на рис.1 в виде фигуры MFRS, которая формируется выше границы FM развития аномалии пониженного горного давления.

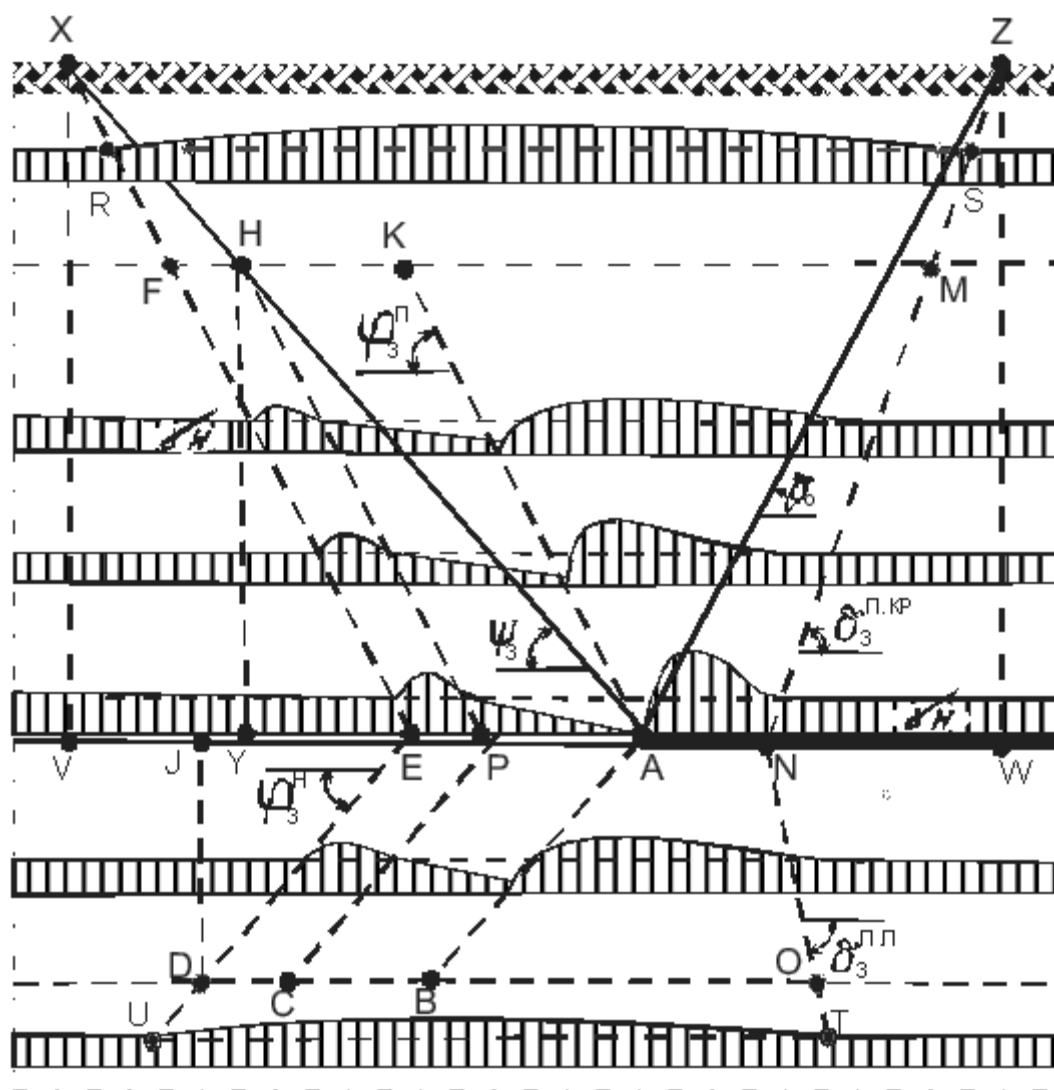


Рис. 1 – Совмещенная схема на вертикальном разрезе по простиранию сдвижения горных пород и перераспределения НДС в углеродном массиве вокруг очистного забоя

Из вышеизложенного следует, что подрабатываемый массив горных пород претерпевает изменения связанные с его НДС при рассмотрении движущегося

очистного забоя. Поэтому массив горных пород, который находится в кровле разрабатываемого пласта при движении очистного забоя, испытывает попеременно следующие изменения, связанные с техногенным воздействием на него.

1. Область ПГД АКМН;
2. Область разгрузки АРНК;
3. Область ПГД РЕФН;
4. Область восстановления нормального горного давления, EXV;
5. Область ПГД FRSM.

Из вышеизложенного следует, что в массиве горных пород, который подрабатывается, формируются только три области в результате объединения трех областей ПГД в одну:

1. Область ПГД ANSREPHK;
2. Область разгрузки РНКА;
3. Область нормального геостатического горного давления впереди очистного забоя и позади, соответственно NZW и EXV.

Применяя подобные рассуждения к массиву горных пород, залегающего в почве разрабатываемого угольного пласта, получаем соответствующие области геомеханического состояния надрабатываемого углепородного массива горных пород.

1. Область ПГД ANTUEPCB;
2. Область разгрузки АВСП;
3. Область нормального геостатического горного давления (ОНГГД) впереди очистного забоя и позади, соответственно TNW и EUV.

Если рассмотреть эпюры горного давления вокруг очистного забоя, представленные в работе [6], в соответствии с высказанным фактом в работе [3] о синхронности процессов добычи угля и протекающего сдвижения подработанного массива горных пород с характерным проявлением на земной поверхности в виде динамической мульды сдвижения, геометризация которой проделана в работе [5], необходимо отметить о существовании явления формирования динамической области разгрузки АКНРСВ в углепородном массиве вокруг движущегося очистного забоя. Областью данное состояние массива горных пород названо по причине того, что в направлении по вертикали и горизонтали, как со стороны не тронутого горными работами массива, так и со стороны подработанной части массива обладает свойством пониженного значения горного давления по отношению к окружающему ее горному массиву, испытывающему повышенное горное давление.

Данная область массива испытывает напряжения меньшие геостатического соответствующей глубины ведения горных работ, а массив, который оконтуривает непосредственно эту область, представленный на рис.1 областью, внутренней границей которой является область АКНРСВ, а внешней границей является фигура NSREUT, испытывает напряжения большие геостатического. Таким образом, в углепородном массиве возникает замкнутая объемная оболочка повышенного горного давления, которая является оконтуривающей для объемной области разгрузки.

При выполнении условия одновременности геомеханического изменения состояния углепородного массива, вокруг движущегося очистного забоя, происходит формирование движущихся вслед за ним области ПГД и динамической области разгрузки (ДОР).

Рассчитаем основные параметры ДОР. В основном шахты центрального района Донбасса разрабатывают пласты в нисходящем порядке, поэтому принимаем следующие значения углов сдвижения массива горных пород в соответствии со справочником [4] при угле падения угольного пласта  $10^\circ$ :  $\delta_0 = 700$ ;  $\gamma_0 = 70^\circ$ ;  $\beta_0 = 62^\circ$ ;  $\psi_1 = 52^\circ$ ;  $\psi_2 = 50^\circ$ ;  $\psi_3 = 55^\circ$ .

В работе [7] рассматривается изменение дебита дегазационных скважин на различном удалении от очистного забоя лавы в условиях центрального Донбасса при пологом залегании пласта мощностью 1,60 м на глубине 1100 м.

В частности указано, что на расстоянии до 100 м позади очистного забоя идет прямо пропорциональное уменьшение величины дебита дегазационных скважин. Затем в интервале 100-260 м дебит скважин резко сокращается и поэтому не оказывает ощутимого влияния на эффективность дегазации участка. На расстоянии позади линии очистного забоя более 260 м дебит метана в дегазационных скважин незначительно увеличивается. Т.е. данными натурными наблюдениями с помощью газовой съёмки дегазационных скважин подтверждается порядок изменения НДС подрабатываемого массива представленный в работе [6], т.е. скважины попадают сначала в сферу влияния ДОР, затем в область ПГД, и далее в сферу влияния ОНГГД.

Применяя формулу (3) найдём угол  $\varphi_3^H$ , где  $H=1100$  м,  $\psi_3 = 55^\circ$ ,  $(AE)=260$  м. Получаем  $\varphi_3^H = 65^\circ$ . При длине очистного забоя 200 м получаем из формулы (4) высоту развития ДОР по нормали в кровлю от разрабатываемого пласта.

$$H_{П,Н} = \frac{L_n \cdot k_0}{2 \cdot \text{ctg} \varphi_3^{П,Н}}, \quad (4)$$

где  $H_{П,Н}$  – соответственно распространение ДОР в кровлю и почву по нормали к напластованию разрабатываемого пласта, в соответствии с рис. 1 это линии НУ и DJ, м;  $L_n$  – длина очистного забоя, м;  $\varphi_3^{П,Н}$  – угол геомеханического преобразования НДС в углепородном массиве соответственно при подработке и надработке, град;  $k_0$  – коэффициент формы ДОР за счет её закругления, равный 0,9. Угол  $\varphi_3^H$  принимаем в соответствии с данными о натуральных измерениях, представленными в работе [6], равным  $45^\circ$ .

Получаем  $H_{П}=193$  м,  $H_{Н}=90$  м. Тогда натуральную величину ДОР в кровле и почве разрабатываемого пласта определим по формуле (5).

$$L_{П,Н}^{ДОР} = \frac{H_{П,Н}}{\sin \varphi_3^{П,Н}}, \quad (5)$$

где  $L_{П,Н}^{ДОР}$  – натуральная величина (длина) ДОР соответственно в почве и кровле, что на рис. 1 соответствует линиям РС, АВ и РН, АК, м.

Получаем  $L_{П}^{ДОР} = 212$  м,  $L_{Н}^{ДОР} = 127$  м.

Исходные и полученные данные о ДОР внесем в таблицу.

Таблица 1 – Исходные данные и вычисленные параметры ДОР для пологих пластов центрального Донбасса

	$L_p$ , м	$H_{разраб}$ , м	$\psi_3$ , град.	$\varphi_3$ , град.	$H_{П,Н}$ , м	$L^{ДОР}$ , м
Подраб.	200	1100	55	65	193	212
Надраб.			-	45	90	127

Подтверждением существования ДОР являются выполненные расчеты моделирования численным методом в работе [8], где в частности говорится о восстановлении газового давления в обрушенных породах после прохождения очистного забоя. Также указывается, что газовая обстановка в очистном забое определяется только объёмом газа, содержащегося в породах в зоне активного сдвижения в пределах в сторону почвы 40 вынимаемых мощностей, а в кровлю 150 вынимаемых мощностей пласта.

В работе [9] натурными замерами подтверждается существование ДОР фактом выявления газодинамической связи между дегазационными скважинами, расстояние между забоями которых по вертикали составляла как минимум 100 м.

Вполне естественно, что столь значительное развитие ДОР в массиве является не фактом, что данная область приводит к переструктурированию пород. Все зависит главным образом от крепости пород, их газоносности, глубины разработки и времени воздействия ДОР на породы, находящиеся в сфере её влияния.

ДОР можно квалифицировать как перемещающееся физическое поле разгрузки, которое возникает в углепородном массиве вокруг движущегося очистного забоя и вызывающее изменения в структуре пород с интенсивностью, которая зависит от их физико-механических свойств, глубины ведения горных работ, особенностей конкретного месторождения, интенсивности техногенного воздействия в результате ведения очистных работ, и времени воздействия ДОР на породы, попадающие в сферу её влияния.

На данном этапе развития горных работ на больших глубинах ДОР проявляет себя в виде поступления метана из окружающих пород и циклического изменения горного давления в зоне ПГД впереди очистного забоя, что влечет за собой ограничение нагрузок на очистной забой по газовому фактору, увеличение вероятности возникновения газо-динамических явлений, а также скачкообразного изменения дебита поступающего газа в лаву из угля и вмещающих пород в результате естественной их газоотдачи.

Дальнейшее изучение степени влияния ДОР и ДОПГД на технологию и интенсивность угледобычи, а также возможное и необходимое развитие новых технологий и способов дегазации углепородного массива является базой для разработки новых способов управления горным давлением с использованием его энергии для безопасной и высокопроизводительной угледобычи на больших глубинах при высокой газоносности вмещающих пород.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по дегазации угольных шахт, М., «Недра», 1990, 182 с.
2. А.Т. Айруни. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах. М., Недра, 1981. – 335 с.
3. Акимов А.Г., Земисев В.Н., Кацнельсон Н.Н. и др. Сдвигение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений, М., «Недра», 1970. – 224 с.
4. Справочник по маркшейдерскому делу / Под ред. проф. д-ра техн. наук А.Н. Омельченко.-4-е изд., перераб. и доп. – М., Недра, 1979. – 576 с.
5. Автореферат дисертації на здобуття звання д-ра техн. наук Назаренко В.А. «Геометризація процесу зрушення земної поверхні над рухомим очисним забоем», Дніпропетровськ, 2004, НГУ.
6. И.М. Петухов, А.М., Линьков, В.С. Сидоров, И.А. Фельдман. Теория защитных пластов, М., «Недра», 1976. – 224 с.
7. А.В. Мартовицкий, В.Б. Демченко. Анализ параметров каптажа метана участковыми дегазационными скважинами. / Межведомственный сборник научных трудов №48, Ин-т геотехн. механики им. Н.С. Полякова, Днепропетровск, 2004. – С. 108-114.
8. Б.В. Бокий. Трехмерное перераспределение давления метана в окрестности движущегося очистного забоя / Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах / Материалы XV международной научной школы им. Академика С.А. Христиановича, Алушта, 19-25 сентября, 2005 г.
9. И.А. Ефремов, Б.В. Бокий, В.В. Лукинов, О.И. Касимов. Эффективность комплексной дегазации лавы при высокой нагрузке на очистной збой / Межведомственный сборник научных трудов №53, Ин-т геотехн. механики им. Н.С. Полякова, Днепропетровск, 2005.

УДК 622.831.3

И.В. Назимко

### ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТКИ ПРИ ВЫСОКОЙ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Встановлено, що при збільшенні швидкості посування очисного вибою до 200м/міс уздовж конвеєрного штреку тимчасово зависає велика маса підпрацьованої товщі. Це спричинило інтенсифікацію здимання підосви виробки.

### HEAD ENTRY MEINTANANCE TECHNOLOGY DEVELOPMENT DUE TO INTENCIEVE LONGWALL ADVANCE

Rate of longwall retreat up to 200 m per month causes intensive flow heave in head entry, because temporal cantilever rock beam effect.

Отработка производительных очистных забоев на современных угольных шахтах связана с проблемой обеспечения их прямоточного проветривания и поддержания выработки вслед за движущейся лавой. Именно такая схема обеспечивает безопасные условия при интенсивной отработке газонасыщенных угольных пластов. Вместе с тем проблема поддержания выемочной выработки