

СДВИЖЕНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД КАК ГЛАВНЫЙ ФАКТОР ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ВЫЕМКЕ УГЛЯ

Розглянуто вплив глибини розробки та величини об'єму масиву гірських порід, що зрушується на стійкість гірничих виробок, види прояву гірничого тиску в залежності від співвідношення швидкостей переміщення очисного вибою і деформацій розтягнення в масиві. Визначено об'єм деформаційної хвилі і швидкість її переміщення.

DISPLACEMENT OF THE ROCK MASS AS A MAIN FACTOR OF ROCK PRESSURE IN COAL MINING

The influence of extraction depth and quantity volume of rock mass which is displacemnting on the resistance heading and the kind of manifestations rock pressure depending on the ratio of the speed move of working face and tension deformations in the mass are considered. The volume of the wave deformation and the speed of moving are defined.

Введение.

Несмотря на рост объемов производства альтернативных источников энергии, добыча угля в ближайшем будущем остается перспективной, и будет производиться на глубоких горизонтах шахт. С одной стороны это благоприятно для экологии, поскольку деформации земной поверхности снижаются, и наносится, соответственно, меньший вред окружающей среде (не разрушаются здания и сооружения, не подтапливаются территории), а с другой – усложняется добыча угля в связи с повышением горного давления, увеличением газовыделения, выбросами угля и метана. Эти негативные последствия являются главной причиной аварийных ситуаций на шахтах. Проявления на шахтах Украины опасных газодинамических явлений свидетельствует о том, что горное давление изучено недостаточно. Особенно мало изучена взаимосвязь параметров сдвижения подработанного массива горных пород с параметрами очистной выемки.

В процессе выемки угля массив горных пород разделяется на зоны:

1) первая характеризуется тем, что после выемки угля процесс сдвижения в ней полностью закончился, подработанный горный массив осел, горные породы и земная поверхность находятся в нарушенном состоянии;

2) вторая – это зона, где уголь не вынут и горный массив, и земная поверхность находятся в естественном состоянии.

Ни в подработанном массиве, где процесс сдвижения полностью окончился, ни в неподработанном массиве, под которым выемка угля еще не производилась, никаких особо опасных газодинамических явлений и деформационных процессов не происходит. Они происходят в третьей зоне – динамической мульде сдвижения.

Динамическая мульда сдвижения – это подрабатываемый массив горных пород и земная поверхность, которые при перемещении очистной выемки разделяются на участки с одновременными, но различными деформациями: растяжений и сжатий. Во время подвигания очистного забоя перемещается и динамическая мульда сдвижения: вовлекаются в сдвижение новые участки массива горных пород и земной поверхности, при этом зона растяжений перемещается вслед за подвиганием забоя и через определенный период сменяется зоной сжатий [1].

Динамическая мульда – это деформационная волна, которая перемещается по подрабатываемому массиву.

Динамическая мульда сдвижения ограничена плоскостями: впереди очистного забоя плоскостью, наклоненной под динамическим углом сдвижения; позади очистного забоя, где процесс сдвижения закончился, плоскостью, наклоненной в сторону выработанного пространства под углом полных сдвижений; плоскостями со стороны восстания и падения пласта, наклоненными под соответствующими углами сдвижения.

Объемом динамической мульды сдвижения (деформационной волны) будем называть массив горных пород, ограниченный выше указанными плоскостями (рис. 1).

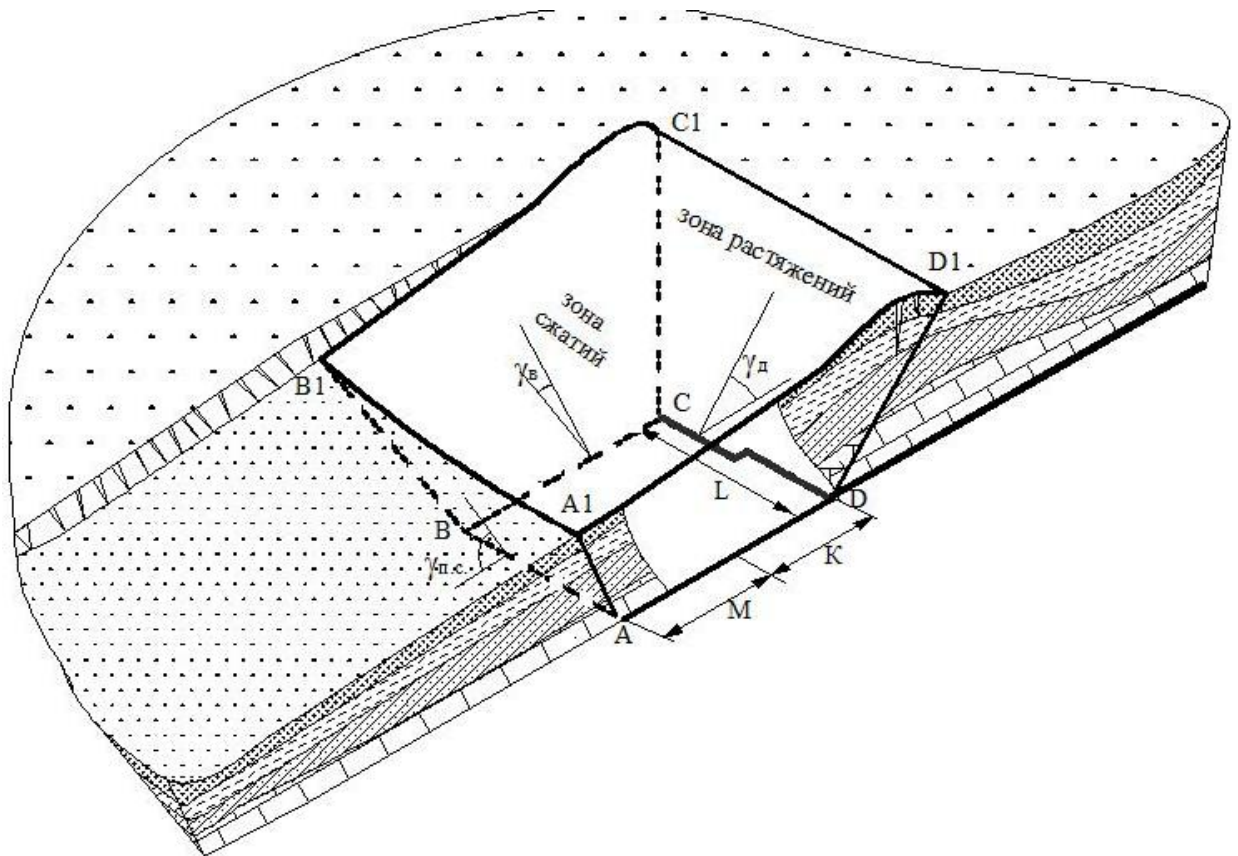
Объем динамической мульды сдвижения не является постоянным. Он зависит от многих величин: глубины ведения горных работ, элементов залегания пласта, системы разработки, параметров очистного забоя, параметров сдвижения, свойств пород, слагающих сдвигающуюся толщу, проявляющихся в видах и параметрах деформаций, прежде всего их скорости, газоводонасыщенности массива, его естественной и тектонической нарушенности.

Результаты предыдущих исследований.

В геомеханике, изучающей горное давление, развиваются два направления. Первое, основанное на инструментальных измерениях сдвижения массива горных пород и земной поверхности с разработкой эмпирико-аналитических моделей. Второе – теоретические методы, основанные на гипотезах горного давления исходя из механики сплошных сред [2]. Основоположником первого направления является Авершин С.Г. [3], второго – Динник А.Н. [4]. В обоих направлениях на протяжении многих лет получены весьма существенные научные результаты. Однако, некоторые гипотезы, принятые в теоретических методах изучения горного давления, не согласуются с инструментальными наблюдениями. Так, А.Н. Динник внес следующую гипотезу [4, стр.103] «Если рассматривать горную породу, как упругое тело, то в таких же условиях находится кубик, мысленно выделенный из слоя горной породы, лежащей на глубине H от дневной поверхности и неопределенно простирающейся во все стороны. Если вышележащая порода однородна, то:

$$\sigma_y = qH \text{ (гидростатическое давление),} \quad (1)$$

где q – вес единицы объема породы, кг/м³.



$ABCD$ – участок земной поверхности, ограниченный динамической мульдой сдвижения; $A_1B_1C_1D_1$ – площадь подработанного массива, ограниченная длиной очистного забоя и шириной от очистного забоя до выработанного пространства, где уже закончился процесс сдвижения; $\gamma_{п.с.}$, γ_d , γ_b – углы сдвижения (углы полных сдвижений, динамический угол, угол по восстанию пласта); L – длина лавы, м; M – постоянная минимальная величина расстояния от точки под землей, где закончился процесс сдвижения, до положения очистного забоя при отходе от разрезной печи, м; K – расстояние от точки положения очистного забоя, при котором при отходе от разрезной печи процесс сдвижения начался, м

Рис. 1 – Перемещение динамической мулды (деформационной волны) в массиве горных пород при подвигании очистного забоя

Очевидно, что в данном случае $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$. Так как изменению длины горизонтального ребра мешает порода, то $\tau_x = 0$. Эта гипотеза используется многими исследователями и в дальнейшем. Так, например, в работе [5] (рис. 2) в расчетной схеме принято:

$$\sigma_y = \gamma H; \sigma_x = \lambda \gamma H, \quad (2)$$

где γ – среднее значение объемного веса горных пород; λ – коэффициент бокового распора.

Приведенная схема имеет недостатки:

а) в расчетной схеме при выемке угля предполагается, что напряжения возникают мгновенно. По инструментальным наблюдениям продолжительность сдвижения составляет месяцы и годы в зависимости от глубины разра-

ботки;

б) сдвигение массива происходит всегда впереди очистного забоя (под динамическим углом) при любых глубинах;

в) деформации растяжения доходят от забоя до поверхности не мгновенно, а за продолжительный период, то есть с определенной скоростью, которая зависит от свойств пород [7].

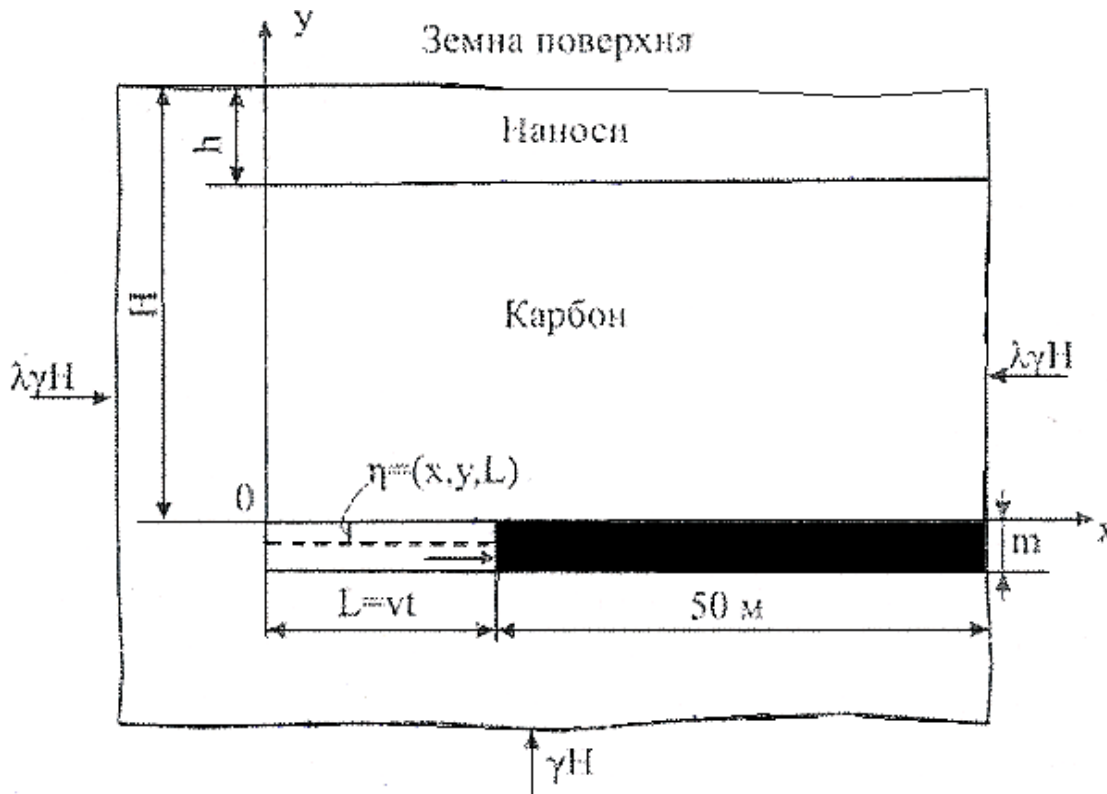


Рис. 2 – Расчетная схема (по[5])

Цель работы.

Целью работы является установление зависимости объема динамической мульды сдвигения от глубины ведения горных работ, параметров очистного забоя, параметров сдвигения.

Задачи работы.

а) установить влияние величины объема сдвигающегося массива горных пород (как горного давления) на устойчивость горных выработок;

б) установить зависимости объема динамической мульды сдвигения от глубины разработки, скорости перемещения очистного забоя, скорости развития деформаций растяжения в массиве, скорости оседаний и др.;

в) рассмотреть особенности перемещения динамической мульды сдвигения (деформационной волны).

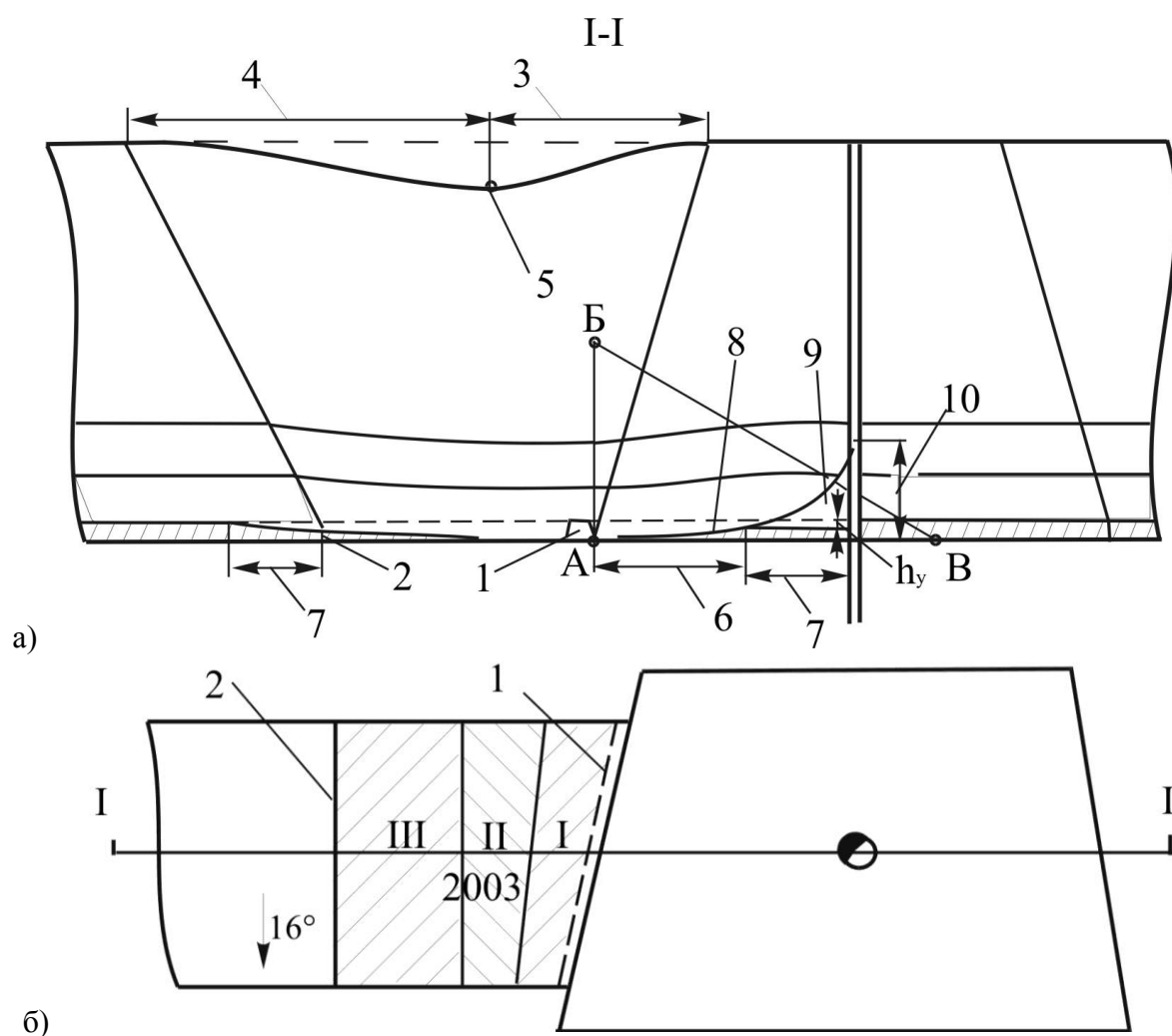
Результаты исследований.

Влияние величины объема сдвигающегося массива горных пород на устойчивость горных выработок.

Рассмотрим процесс сдвигения массива горных пород при перемещении

очистных работ от целика, при котором происходят наибольшие разрушения целика и ствола [6 – 9] (рис. 3).

При отходе от разрезной печи 1 очистного забоя 2 произошло сдвижение массива горных пород и земной поверхности. В горном массиве и на земной поверхности образовались две полумульды сдвижения: статическая 3 и динамическая 4. В процессе перемещения очистного забоя и развития динамической мульды 4 в точке 5 земной поверхности усиливались деформации сжатия в результате их наложения от статической и динамической полумульд. Это привело к повышению опорного давления ABB и разрушению пласта угля в охранном целике на участке 6. На участках 7 произошла усадка пласта на величину h_y . На контакте разрушенного угля и пород кровли образовалась поверхность сдвижения 8, в результате смещения по ней пород 9 произошли деформации ствола на участке 10.



а – формирование статической и динамической мульд сдвижения и их влияние на деформации ствола; б – развитие горных работ возле охранного целика

Рис. 3 – Влияние сдвижения массива горных пород на разрушение и усадку угольного пласта в охранном целике.

Как следует из приведенной схемы, в данном случае одновременно в сдвиге вовлекается при прочих равных условиях наибольший массив горных пород: от статической и динамической мульд сдвига. По исследованиям [9] при совместном воздействии статической и динамической мульд происходит кратковременная концентрация горизонтальных деформаций сжатия, которые в 4 раза превышают опасные. При подходе лавы к целику объем пород, вовлекаемый одновременно в сдвиге, меньше – только от динамической мульды. И еще меньший объем массы горных пород вовлекается в сдвиге при проходе лавы рядом с границей целика. При этом воздействие сдвига на границу целика происходит постепенно по мере продвижения очистного забоя.

Таким образом, чем больший массив горных пород одновременно вовлекается в сдвиге, а, следовательно, была большей и величина горного давления, тем большие разрушения целика и ствола.

Влияние объема сдвигающегося массива горных пород (объема динамической мульды) на величину горного давления проявляется и при отработке крутых угольных пластов. Оно различно при разных технологических схемах отработки пластов: лавами с перемещением забоя по простиранию, полосами с перемещением забоя по падению [10]. При отработке лавами и перемещении очистного забоя по простиранию на обрабатываемом этаже объем массива пород, одновременно вовлекаемый в сдвиге, остается постоянным. При отработке полосами по падению объем массива горных пород увеличивается по мере понижения очистных работ.

В первом случае горное давление по мере перемещения очистного забоя хотя и является максимальным для данной глубины разработки, но не будет существенно изменяться по мере отработки этажа.

Однако давление не будет равномерно распределяться по длине лавы. Наибольшие смещения будут в нижней части лавы, а наименьшие – в верхней. Это же подтверждается инструментальными наблюдениями по определению сближения боковых пород, приведенными в работе [11].

При перемещении очистных работ по падению горное давление постепенно повышается в соответствии с увеличением объема горных пород массива, одновременно вовлекаемых в сдвиге.

Увеличение давления с понижением горных работ за каждый цикл подтверждается инструментальными измерениями напряжений в массиве, приведенными в работе [12]. Так, установлено, что с отработкой каждой последующей полосы концентрация напряжений в угольном массиве увеличилась и достигла максимальной величины при доработке панели; они увеличились в 2,5 раза (табл. 1).

Таким образом, причиной различного горного давления в одинаковых горногеологических условиях являются разные объемы сдвигающегося массива.

Таблица 1 – Изменение деформаций по падению в массиве при выемке угля полосами с перемещением забоя в том же направлении (по Глушко В.Т. и др.)

Расстояние от контура полосы до деформометров по падению, м	Деформации в зоне опорного давления, мм								
	Расстояние до забоя, м								
	2	3	4	5	8	10	12	14	16
45	0,95	0,95	0,90	0,85	0,80	0,80	0,77	0,75	0,75
85	1,25	1,20	1,35	1,30	1,25	1,20	1,10	1,00	0,95
102	2,75	2,80	2,75	2,90	1,85	2,40	2,85	2,55	2,40

Формирование динамической мульды сдвижения (деформационной волны).

Рассмотрим три вида горного давления в зависимости от соотношения скоростей перемещения очистного забоя и деформаций растяжений в массиве, а также формирование при этом динамической мульды сдвижения.

1) Скорость перемещения очистного забоя V_3 меньше скорости развития деформаций растяжений V_D в массиве ($V_3 < V_D$). При этом глубина разработки H такова, что зона растяжений с разрушением сплошности массива достигает поверхности, то есть:

$$H < \frac{2L_6}{V_3} V_D, \quad (3)$$

где $H_p = \frac{2L_6}{V_3} V_D$ - зона расслоений, м.

Тогда объем деформационной волны (приблизительно, как объем усеченной призмы) $V_{д.в.}$ составит:

$$V_{д.в.} = \frac{1}{2} H \left\{ \left[\left(M + \frac{g(H)}{V_o} * m * \cos \alpha \right) V_3 + H \left(\text{tg} \gamma_{пс} + \text{ctg} \gamma_D \right) * L + H \left(\text{tg} \gamma_B + \text{ctg} \gamma_{п} \right) * L \right] + \left[M + \frac{g(H)}{V_o} * m * \cos \alpha \right] * L \right\}, \quad (4)$$

где α – угол падения пласта, град.; m - мощность пласта, м; $\gamma_{пс.}, \gamma_D, \gamma_B, \gamma_{п}$ – углы сдвижения (угол полных сдвижений, динамический угол, углы по восстанию и падению пласта); $g(H)$ - коэффициент при главном векторе сдвижения; V_o - скорость оседаний, м/сут; V_3 – скорость подвигания забоя, м/сут; L - длина лавы, м; H – глубина разработки, м; M – постоянная минимальная величина расстояния от точки под землей, где закончился процесс сдвижения, до положения очистного забоя при отходе от разрезной печи, м (см. рис 1).

2) Скорость перемещения очистного забоя также меньше скорости развития деформаций растяжения в массиве ($V_3 < V_D$). Но глубина разработки такова, что зона растяжений с разрывом сплошности массива не доходит до поверхности. В массиве образуется зона расслоений на высоте H_p от забоя. Эта отделившаяся часть массива (часть объема динамической мульды) и проявляет себя как горное давление. Ее объем (объем деформационной волны) $V_{д.в.н.}$ составит:

$$V_{д.в.н.} = \frac{L_B V_D}{V_3} * \left\{ \left[\left(M + \frac{g(H_p) * m * \cos \alpha}{V_o} * V_3 \right) + \frac{L_B V_D}{V_3} (ctg \gamma_{п.с.} + ctg \gamma_D) \right] * \left[L + \frac{2L_B V_D}{V_3} (ctg \gamma_B + ctg \gamma_{II}) \right] + \right. \\ \left. + \left[M + \frac{g(H_p) * m * \cos \alpha}{V_o} * V_3 \right] * L \right\}, \quad (5)$$

где L_B – шаг обрушения основной кровли, м; V_D – скорость развития деформаций растяжений в массиве, м/сут.

Как следует из выражения, объем деформационной волны уменьшается с повышением скорости перемещения очистного забоя, то есть горное давление снижается, что подтверждено практикой.

3) Скорость перемещения очистного забоя выше скорости развития деформаций растяжения ($V_3 > V_D$). Разрыв сплошности пород отсутствует. Такие скорости перемещения очистного забоя по данным Айруни А.Т. были достигнуты на шахтах в Австралии. Объем деформационной волны, надо полагать, в этих условиях минимальный.

Особенности перемещения динамической мульды сдвижения (деформационной волны).

Скорость перемещения динамической мульды сдвижения зависит от свойств пород (их оседания), глубины разработки и скорости перемещения очистного забоя. Скорость перемещения деформационной волны можно определить инструментально.

Допустим, что на поверхности имеется наблюдательная станция, состоящая из реперов, расположенных по направлению перемещения динамической мульды (рис. 4).

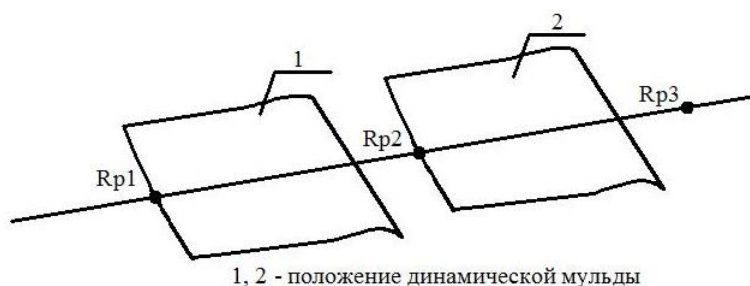


Рис.4 – Перемещение динамической мульды

Если на репере R_{p1} прекратились оседания, то есть он находится на участке полных сдвижений, а через время t прекратились оседания на репере R_{p2} , то при расстоянии между реперами l скорость перемещения динамической мульды $V_{д.в.}$ составит:

$$V_{д.в.} = \frac{l}{t}, \text{ мм/сутки.} \quad (6)$$

Однако, при разной скорости перемещения очистного забоя и при постоянной величине оседаний, зависящей от свойств пород, параметры динамиче-

ской мульды будут изменяться, а следовательно будет изменяться объем деформационной волны, что необходимо учитывать при определении скорости ее перемещения.

Выводы.

1. Опыт ведения горных работ на пологих и крутых пластах, инструментальные наблюдения свидетельствуют о том, что чем больше объем горных пород одновременно вовлекается в сдвигание, тем больше горное давление. Только та часть горных пород проявляет себя как горное давление, которая в результате сдвигания отделилась от массива, и разрушились межкристаллические связи, подрабатываемый массив потерял сплошность.

2. При понижении горных работ при подземной добыче угля горное давление в виде объема подработанного горного массива (объем деформационной волны) увеличивается с глубиной разработки; зависит от параметров сдвигания и параметров очистного забоя, скоростей развития деформаций растяжений в неразрушенном массиве и оседания в нарушенном. Регулирование (уменьшение) горного давления возможно путем увеличения скорости перемещения очистного забоя, что приведет к уменьшению объема деформационной волны.

3. Скорость перемещения динамической мульды зависит от скорости оседания подработанных горных пород и скорости перемещения очистного забоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрук Е.Г. Управление деформационными процессами в динамической мульде сдвигания при подземной разработке пологих угольных пластов: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Днепропетровск, 1994. – 38 с.
2. Скипочка С.И., Усаченко Б.М., Куклин В.Ю. Элементы геомеханики углепородного массива при высоких скоростях подвигания лав. Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАНУ, Днепропетровск, 2006. 248 с.
3. Авершин С.Г. Сдвигание горных пород при подземных разработках. Углетехиздат. Москва, 1947.
4. Динник А.Н., Скуратов Г.А. Справочник по технической механике (с горным уклоном). Издание «Угля». 1931.
5. Новикова Л.В., Заславская Л.Н., Яворский А.В.//Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників – 2006». – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2006. – С. 106-112.
6. Акимов А.Г., Хахимов Х.Х. Обеспечение безопасной эксплуатации шахтных стволов. М.: «Недра», 1988. – 216 с.
7. Четверик М.С., Андрощук Е.В. Теория сдвигания массива горных пород и управления деформационными процессами при подземной выемке угля. Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАНУ. Днепропетровск, 2004, 150 с.
8. Кулибаба С.Б. О повышении эффективности охраны вертикальных шахтных стволов//Геотехническая механика: Межведом. сб. научных трудов/ Институт геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2001. – вып. 29 – С. 162-165.
9. Ларченко В.Г. Влияние направления движения очистного забоя на деформации объектов земной поверхности, расположенных над границей целика//Сб. научных трудов. Вып.12, Алчевск, ДМИ. – С. 74-81.
10. Подорванов А.А., Бубнова Е.А. Влияние технологических схем выемки угля и управления кровлей на сдвигание массива горных пород и земной поверхности при разработке крутых угольных пластов//Геотехническая механика: Сб. науч. Трудов. – Днепропетровск: ИГТМ, 2004. - №49 – С.73-79.
11. Булат А.Ф., Курносоев А.Т. Управление геомеханическими процессами при отработке угольных пластов. К.: Наук. Думка, 1987. – 200 с.
12. Методика оценки основных технологических и технических параметров отработки крутых пластов щитовыми агрегатами/ Ин-т геотехнической механики АН УССР. Сост.: Глушко В.Т., Яланский А.А., Курносоев А.Т., Паламарчук Т.А. – Киев: Наук. Думка, 1981. – 56 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н Б.О. Блюссом 18.08.09