

## ИЗУЧЕНИЕ СКОРОСТИ РАЗВИТИЯ ДЕФОРМАЦИЙ В МАССИВЕ НА ОСНОВЕ МАРКШЕЙДЕРСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

М. Четверик<sup>1</sup>, Е. Бубнова<sup>1\*</sup>, Е. Бабий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Отдел геомеханических основ технологий открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, Украина

\*Ответственный автор: e-mail [bubnova@nas.gov.ua](mailto:bubnova@nas.gov.ua), тел. +380562466002, факс: +380562462426

## THE RATE OF DEFORMATION DEVELOPMENT IN THE ROCK MASSIF ON THE BASIS OF SURVEYING MONITORING ON THE EARTH SURFACE

M. Chetveryk<sup>1</sup>, O. Bubnova<sup>1\*</sup>, K. Babiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail [bubnova@nas.gov.ua](mailto:bubnova@nas.gov.ua), tel. +380562466002, fax: +380562462426

### ABSTRACT

**Purpose.** Basing on the instrumental surveying measurement, to determine the rate of tensile strain displacements in the rock mass, and to use the obtained data for controlling rock pressure and ensuring job safety.

**Methods.** The rate of deformation development in different types of rocks was defined on the basis of statistical processing of the surveying monitoring results applying the theory of layer-by layer block rockfall.

**Findings.** Results of the instrumental surveying monitoring of the rock mass and surface displacements were generalized, and on their basis, the rate of deformation displacement was determined. Interdependence between the rate of deformation displacement, velocity of the stope advance, depth of mining and height of sheeted zone was specified. Taking into account parameters of the dynamic displacement trench, the volume of destroyed rocks was determined, which manifested itself as rock pressure.

**Originality.** It is for the first time when, on the basis of instrumental observations, the rate of the tensile strain displacement in the rocks with varying degrees of lithification was defined. The height of sheeted zone in the undermined mass was determined on the basis of the established interdependence between the rate of deformations displacements, stope advance velocity, and the step of the main roof rock fall. The value of the sheeted zone height determines the value of the rock pressure.

**Practical implications.** The obtained data about the velocity of deformation displacement in the undermined rock mass allow to control rock pressure and improve efficiency of mining operations and their safety.

**Keywords:** underground mining, rate of deformation, dynamic trench, surveying monitoring of displacement

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных проблем при подземной выемке полезных ископаемых является изучение проявлений деформационных процессов в подработанном массиве горных пород, которые характеризуют закономерности горного давления. Деформационные процессы происходят как при выемке полезного ископаемого, так и продолжительный период после ее окончания, а также после закрытия предприятия.

Информация о деформационных процессах в массиве горных пород базируется, как правило, на теоретических исследованиях, в основу которых закладываются результаты наблюдений за процессом

сдвигания земной поверхности и маркшейдерского контроля состояния горных выработок.

Однако наряду с этим проводятся исследования непосредственно деформационных процессов и горного давления в массиве с применением:

– экстензометров специальной конструкции, устанавливаемых на станции наземной поверхности в зоне влияния очистных работ и на крепи горных выработок. Обработка результатов таких наблюдений по мнению авторов (Yasin, Umetsu, Tatsuoka, Arthur, & Dunstan, 1999) позволит установить не только характеристики развития деформационных процессов в трех плоскостях, но и определить взаимосвязь между деформациями на земной поверхности и в массиве;

– методов визуального внутрискважинного контроля (Shevchenko & Zaitsev, 2014) и многоканальной сейсмоакустики (Bulat, 2004), которые позволяют определить наличие и динамику раскрытия трещин в массиве и характеризуют напряженно-деформированное состояние массива вокруг горных выработок;

– станций контроля деформаций (Mark, Mucho, & Dolinar, 1998), используемых для получения данные о горизонтальных деформациях в зоне влияния очистного забоя и др.

Однако применяемые способы исследования деформационных процессов и горного давления в массиве носят локальный характер и ограничиваются радиусом до 30 м вокруг выработки, что не позволяет установить их развитие выше этой зоны.

При экспериментальных исследованиях на земной поверхности и в массиве горных пород определяется продолжительность сдвижения, однако скорости перемещения деформаций растяжения в подрабатываемом массиве не производят.

Фундаментальной базой в изучении деформационных процессов в горном массиве и горного давления являются гипотезы С.Г. Авершина и А.Н. Динника, представляющие два направления в геомеханике угленородного массива. Первое, основоположником которого является С.Г. Авершин, основано на инструментальных измерениях сдвижения массива горных пород и земной поверхности с разработкой эмпирико-аналитических моделей. Второе, заложенное А.Н. Динником, представляет теоретические методы, основанные на гипотезах горного давления исходя из механики сплошных сред. 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: “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:

$$\sigma_y = qH, \text{ кг/м}^2, \quad (1)$$

где:

$\sigma_y$  – гидростатическое давление;

$q$  – вес единицы объема породы, кг/м<sup>3</sup>.

Очевидно, что в данном случае  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ . Так как изменению длины горизонтального ребра мешает порода, то  $\tau_x = 0$ ”.

Эту гипотезу при исследовании горного давления используют многие исследователи в дальнейшем.

Приведенная теория имеет недостатки:

– в расчетной схеме при выемке угля предполагается, что напряжения возникают мгновенно по всей глубине подработки, что не согласуется с инструментальными наблюдениями, так как по инструментальным наблюдениям продолжительность сдвижения составляет месяцы и годы в зависимости от глубины разработки;

– сдвигение массива происходит впереди очистного забоя (под динамическим углом) при глубинах до 1200 м, что зафиксировано инструментально; а в теоретических расчетных схемах принимают напряжения по нормали к поверхности;

– деформации растяжения доходят от забоя до земной поверхности не мгновенно, а за продолжительный период, то есть с определенной скоростью, которая зависит от свойств пород, глубины их расположения и др. (Chetverik & Androshchuk, 2004).

Поэтому возникают глубокие сомнения относительно правильности общепринятой схемы расчета.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Горное давление в виде сдвигающихся блоков

Теория горного давления на основе сдвигающихся блоков и скорости перемещения деформаций в подработанном массиве горных пород (Chetverik & Androshchuk, 2004) исключает вышеуказанные недостатки.

Как доказано практикой, при подземной выемке угля происходит обрушение основной кровли с определенной закономерностью (Weisdack & Kvitkovich, 2005). Она характеризуется как шаг обрушения основной кровли (Рис. 1), то есть блоками. Его параметры зависят как от свойств пород, так и скорости перемещения забоя.

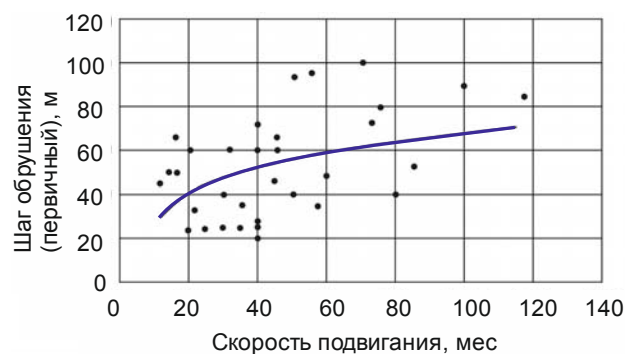


Рисунок 1. Зависимость шага обрушения кровли от скорости подвигания очистного забоя (Ivanov, 2011)

Рассмотрим процесс подработки трех блоков горных пород при перемещении очистного забоя по выемке угля с постоянной скоростью (Рис. 2). При перемещении очистного забоя был подработан блок I на величину шага обрушения основной кровли  $L_B$  и началась подработка блока II. При обрушении, блок I осел на почву пласта (Рис. 2а). Поскольку блок II только подрабатывается и не осел, то в породах между блоками I и II возникли деформации с разрывом сплошности пород в виде трещины (зона растяжений между блоками I и II). Деформации тем больше, чем больше мощность пласта. Образовавшаяся трещина отрыва постепенно перемещается с определенной скоростью вверх по плоскости сдвижения, наклоненной под углом  $\omega$ . Затем, после подработки блока II и переходе очистного забоя к выемке угля под блоком III, оседает на почву пласта блок II (Рис. 2б). Поскольку блок I лежит на почве пласта, а блок II также ложится на почву пласта, то между этими блоками внизу возникает зона сжатий. Это вызвано еще тем, что между блоками II и III возникла новая зона растяжений.

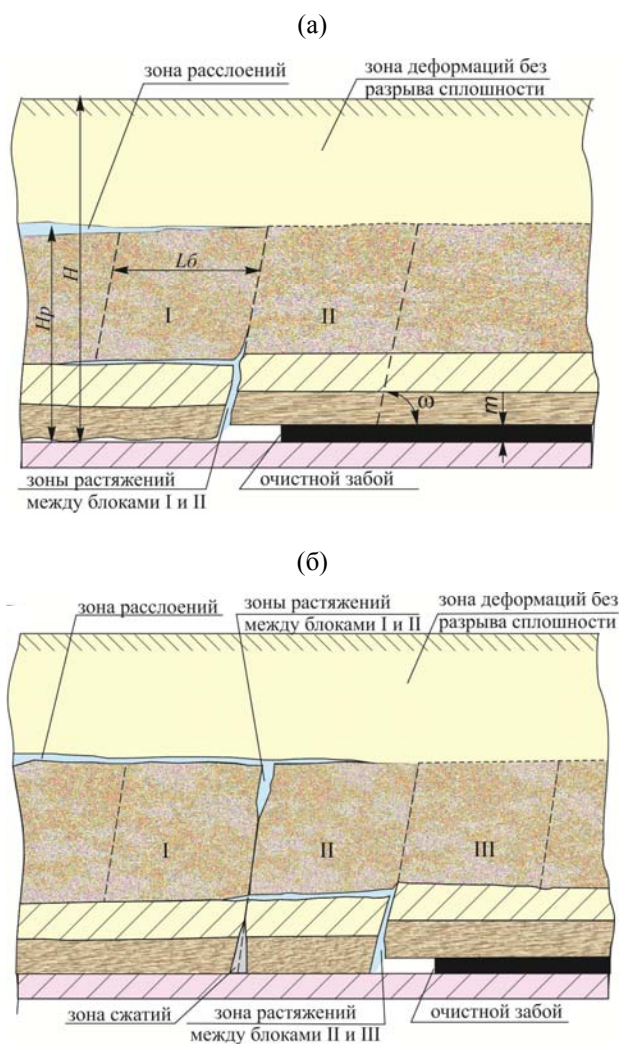


Рисунок 2. Схема к обоснованию образования при подработке блоков зон растяжений, сжатий, зоны расслоений: (а) образование зон растяжений при обрушении блока I; (б) образование зоны расслоений и сжатий

В результате нижняя часть блока II смещается к блоку I. Зона сжатий перемещается вверх за зоной растяжения. Этому способствует вновь образовавшаяся, и перемещающаяся вверх зона растяжений между блоками II и III. На определенной высоте зона растяжений между блоками I и II сменяется сжатиями и образуется зона расслоений. В дальнейшем цикл повторяется. Выше зоны расслоений сдвижение горных пород происходит блоками больших размеров без разрыва их сплошности.

Из приведенной схемы следует, что разрушенные горные породы, которые налегают на консоль, образовавшуюся в очистном забое, будут проявляться в виде горного давления. Для того, чтобы установить объем этих пород, необходимо определить высоту зоны расслоений.

## 2.2. Определение высоты зоны расслоений

Как следует из изложенного выше, зона расслоений образуется после обрушения двух блоков. Тогда высота зоны расслоений может быть определена следующим образом:

$$H_p = \frac{2L_6}{V_3} V_0, \text{ м}, \quad (2)$$

где:

$V_3$  – скорость перемещения очистного забоя, м/сут;

$L_6$  – шаг обрушения основной кровли, м;

$V_0$  – скорость перемещения деформаций растяжений в массиве, м/сут.

В приведенной формуле не учитывается мощность пласта, на величину которой опустились подработанные блоки. В связи с большой высотой зоны расслоений по отношению к мощности пласта, то ею можно пренебречь.

Таким образом, для того чтобы установить высоту зоны расслоений горных пород, а затем и объем разрушенных пород, которые проявляют себя как горное давление, необходимо определить скорость перемещения деформаций растяжений в массиве горных пород.

## 2.3. Определение скорости перемещения деформаций растяжений по плоскости сдвижения

Скорость перемещения деформаций растяжений в подработанном горном массиве определена на основании экспериментальных исследований.

1. На основании данных инструментальных наблюдений на угольных шахтах СССР, приведенных в “Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок” (1981 г.), определены скорости развития деформаций растяжений в подработанном массиве по плоскости сдвижения (Chetverik & Androshchuk, 2004), которые приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Скорость развития деформаций растяжений по плоскости сдвижения

Показатели	Степень литификации пород		
	слабая	средняя	высокая
Скорость развития деформаций по плоскости сдвижения, м/сут	6 – 10	10 – 15	15 – 20
Длина сдвигающихся блоков, м (шаг обрушения основной кровли)	20 – 60	60 – 120	120 – 200

Длина сдвигающихся блоков зависит как от прочности горных пород, так и скорости перемещения забоя. При большой скорости перемещения забоя деформации горных пород распространяются на меньшую высоту.

2. Инструментальные наблюдения за оседанием земной поверхности при большой глубине разработке и больших скоростях перемещения забоев выполнены Донецким государственным техническим университетом (ДонНТУ) в условиях выемки угля на глубине 1200 м на шахте им. Засядько (Navrylenko, Parazov, & Mогоzova, 2000).

Горнотехнические параметры следующие: глубина разработки – 1195 м; вынимаемая мощность пласта – 2.1 м; угол падения пласта – 10°; длина лавы – 250 м; среднемесячное подвигание забоя – 90 м/мес или 3 м/сут; крепость пород по Протодеяконову – 5 – 10; длина обрушаемого блока – 60 м.

Инструментальные измерения оседания земной поверхности проводили на наблюдательной станции,

которая состояла из линии реперов, а также из серии реперов, расположенных в охраняемом здании. Реперы располагали параллельно линии забоя. Они удалены от проекции разрезной печи на 250 м, что составляет 0.2 глубины горных работ (характерным является репер 8). Группа реперов в здании удалена от проекции разрезной печи на 670 м или 0.55 Н (характерным является репер 1).

Репер 8 стал активно оседать при отходе забоя от разрезной печи на 255 м (при расположении забоя в створе репера).

Данные о сдвигении репера 1:

- при расположении забоя на расстоянии 0.18 Н от створа репера не зафиксировано его оседание; с этого момента определили динамический угол сдвижения, равный 80°;

- оседание репера 1 началось на 3.85 месяца позже оседания репера 8;

- активная стадия начинается также как и 8 репера, в период расположения забоя в створе репера 1;

- активная стадия заканчивается через 0.5 Н от створа репера.

Скорость перемещения деформаций для репера 8 составила 15.1 м/сут, а для репера 1 – 11.1 м/сут, средняя – 13.1 м/сут.

Из приведенных данных определили высоту расположения зоны расслоений, которая составила 487.3 м.

3. На основе инструментальных наблюдениях, которые были проведены на шахте “Глубокая” (Kulibaba, 2004), было установлено, что в различные периоды процесса сдвижения скорость его распространения в массиве не одинакова. Наблюдения проводились при подработке вентиляционного ствола №1 двумя спаренными лавами в следующих условиях: средняя глубина разработки – 541 м; вынимаемая мощность пласта – 1.15 м; общая длина двух подрабатываемых лав – 400 м, управление кровлей – полное обрушение; месячное подвигание очистных забоев в пределах целика – до 20 м.

Инструментальные наблюдения за процессом сдвижения проводились по 17-ти парам реперов, заложенных в породу и крепь ствола. Среднее расстояние по вертикали между соседними парами реперов составляло 25.4 м. В процессе инструментальных наблюдений определялись оседания реперов на различные моменты процесса сдвижения. В результате наблюдений было установлено, что скорость распространения процесса сдвижения в массиве от зумпфа ствола к его устью в своей активной стадии являлась неравномерной.

Профессором С.Б. Кулибабой было введено понятие временного градиента нормированных оседаний массива  $G$ . То есть, принимается период в сутках, за который некоторое нормированное оседание распространяется вверх на 100 м по подрабатываемому массиву. На Рисунке 3а приведены графики изменения усредненных значений  $G$  в период активной стадии процесса сдвижения по оси рассматриваемого ствола.

Недостатком этого графика является то, что он не показывает, как изменяется скорость перемещения деформаций в массиве.

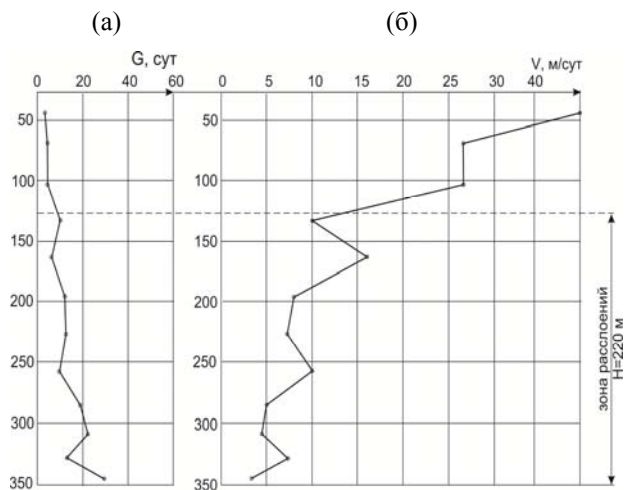


Рисунок 3. Градиент нормированных оседаний массива  $G$  (а) по (Kulibaba, 2004); изменение скорости перемещения деформаций растяжений в массиве на разной глубине (б)

Поэтому, опираясь на данные (Kulibaba, 2004), построен график изменения скорости деформаций (Рис. 3б). Из Рисунка 3 видно, что скорость развития деформаций растяжений от забоя к поверхности неравномерна.

Используя стратиграфическую колонку и полученные инструментальные данные, определены скорости перемещения деформаций для различных пород, слагающих массив (Табл. 2).

Таблица 2. Скорость развития деформаций растяжений в породах в зависимости от глубины разработки

Глубина, м	Мощность, м	Скорость, м/сут
Песчаник		
50.0	6.6	37.0
86.3	6.6	27.0
92.9	13.2	27.0
109.9	26.4	23.0
142.9	19.8	11.5
169.8	13.2	14.5
209.9	3.3	8.0
250.0	6.6	9.5
283.0	6.6	5.5
289.6	6.6	5.0
303.3	16.5	4.5
326.4	9.9	7.0
Сланцы		
83.0	3.3	27.0
139.6	3.0	11.5
163.2	6.5	16.0
183.0	4.9	11.5
226.4	3.0	7.5
235.0	3.0	8.5
259.9	10.0	10.0
295.0	6.5	4.5
319.8	3.0	6.0
323.1	3.0	6.0
336.3	3.0	6.5

На основании полученных данных, приведенных в Таблице 2, установлены закономерности деформационных процессов, которые проявляются при перемещении зоны растяжений в массиве подработанных горных пород (Рис. 4).

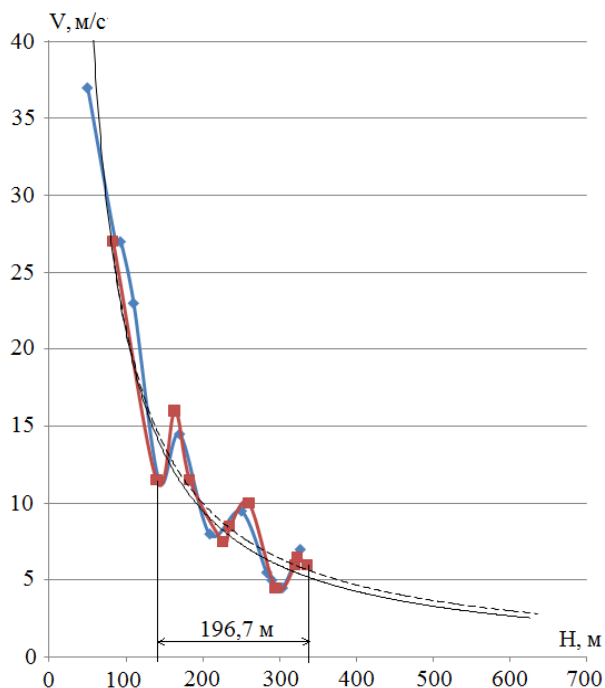


Рисунок 4. Зависимость скорости развития деформаций в массиве горных пород от глубины их расположения в подрабатываемом массиве

Определим высоту зоны расслоений горных пород в подработанном массиве теоретически. Для этого воспользуемся следующими данными: скорость развития деформаций для пород средней степени метаморфизма  $V_D = 8$  м/сут; шаг обрушения основной кровли, согласно Рисунку 1,  $L_B = 15$  м; скорость перемещения забоя  $V_3 = 1.2$  м/сут.

Тогда высота зоны расслоений, начиная от забоя, согласно формуле (2), составит 220 м. Из Рисунка 3б следует, что высота зоны расслоений разделяет массив горных пород на две части – где скорость развития деформаций меньшая (ниже зоны расслоений) и где эта скорость большая (выше зоны расслоений).

Определим высоту зоны расслоений в подработанном массиве горных пород, исходя из инструментальных наблюдений. Для этого на основании данных, приведенных в Таблице 2, построен график изменения скорости перемещения деформаций по глубине подрабатываемого массива горных пород (Рис. 4).

Из графика следует, что скорость перемещения деформаций в массиве в зависимости от глубины расположения подрабатываемого массива разделяется на два участка. Первый, высотой 196.7 м, начиная от зумпфа, носит волновой характер. Он соответствует высоте зоны расслоений, определенной теоретически (погрешность составляет 10.5%).

Скорость перемещения деформаций ниже зоны расслоений носит волновой характер и в среднем может быть определена по формуле:

$$V = 26.252e^{-0.005H} \text{ м/сут.} \quad (3)$$

Волновой характер обусловлен тем, что при переходе деформаций к очередному типу пород вначале скорость снижается, а затем, по мере перемещения по пласту этих пород, увеличивается.

Скорость перемещения деформаций выше зоны расслоений носит практически прямолинейный характер и может быть определена по выражению:

$$V = -0.2729H + 50.964 \text{ м/сут.} \quad (4)$$

Важность полученных данных заключается в том, что зная высоту образования зоны расслоений, можно предположить катастрофические последствия сдвижения, какова бы природа их происхождения не была.

#### 2.4. Определение объема разрушенных горных пород в динамической мульде сдвижения, проявляющегося как горное давление

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 (Рис. 5).

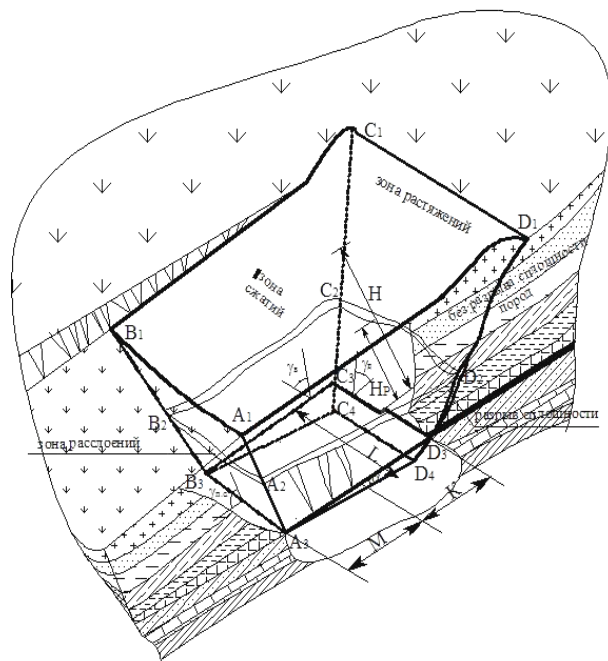


Рисунок 5. Перемещение динамической мульды (деформационной волны) в массиве горных пород при подвигании очистного забоя:  $A_1B_1C_1D_1$  – участок земной поверхности, ограниченный динамической мульдой сдвижения;  $A_2B_2C_2D_2$  – зона расслоений;  $A_3B_3C_3D_3$  – призабойное пространство, где происходит процесс сдвижения;  $A_3B_3C_4D_4$  – горизонтальная плоскость;  $\gamma_{п.с.}$ ,  $\gamma_d$ ,  $\gamma_v$  – углы сдвижения (угол полных сдвижений, динамический угол, угол по восстановлению пласта);  $L$  – длина лавы;  $M$  – постоянная минимальная величина расстояния от точки под землей, где закончился процесс сдвижения, до положения очистного забоя при отходе от разрезной печи;  $K$  – расстояние от точки положения очистного забоя, при котором при отходе от разрезной печи процесс сдвижения начался

В процессе подвигания очистного забоя перемещается и динамическая муфта 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. Можно принять, что динамическая муфта – это деформационная волна, которая перемещается по подрабатываемому массиву.

Объем динамической муфты сдвижения не является постоянным. Он зависит от многих величин: глубины ведения горных работ, элементов залегания пласта, системы разработки, параметров очистного забоя и скорости его перемещения, параметров сдвижения, свойств пород, слагающих сдвигающуюся толщу. Кроме того, зависит от вида и параметров деформаций, прежде всего их скорости, газодонасыщенности массива, его естественной и тектонической нарушенности.

Объем разрушенных пород, как горное давление, определяем как объем усеченной пирамиды (Рис. 5):

$$V = \frac{1}{3}(S_o + S_e + \sqrt{S_o \cdot S_e})H_P, \text{ м}^3. \quad (5)$$

Скорость перемещения очистного забоя зависит от производительности выемочного комплекса  $Q$ , длины лавы  $L$  и мощности угольного пласта  $m$ . В последние годы скорость подвигания лавы существенно увеличилась (Duncan & Paschedag, 2011), что благоприятно отражается на состоянии горных выработок, подтверждая изложенные положения.

Исходя из вышеизложенного, высота зоны расслоений определяется так:

$$H_P = \frac{2L_o L m V_o}{Q}, \text{ м}. \quad (6)$$

На основании формулы (6) построен график (Рис. 6).

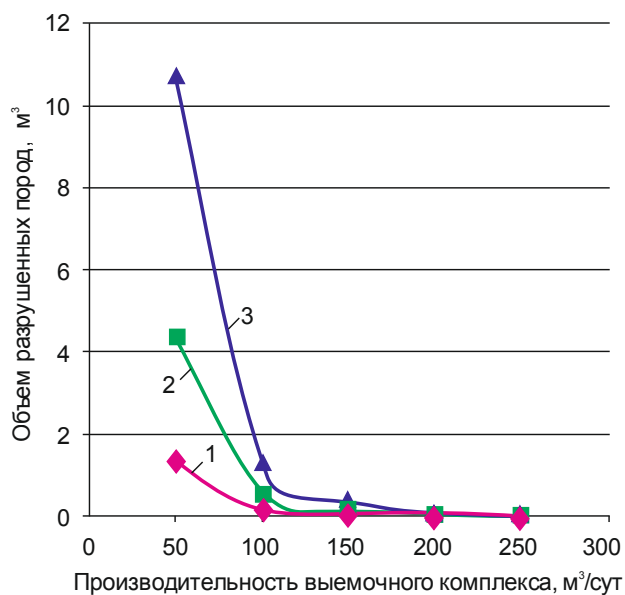


Рисунок 6. Зависимость объема разрушенных пород от производительности выемочного комплекса: 1 – длина лавы 80 м; 2 – длина лавы 160 м; 3 – длина лавы 120 м

Из формулы (6) и графика следует, что чем больше производительность выемочного комплекса, тем меньший объем разрушенных горных пород, который проявляется как горное давление. При большой производительности комплекса по выемке угля длина лавы не оказывает существенного влияния на величину объема разрушенных пород, проявляющих себя как горное давление. В тоже время, чем меньше производительность комплекса и чем больше длина лавы, тем больше объем разрушенных горных пород и больше горное давление.

### 3. ВЫВОДЫ

Скорость перемещения деформаций в подработанном горном массиве в зависимости от глубины расположения пластов имеет разный характер и разделяет его на два участка. Первый, начиная от забоя лавы и до зоны расслоений, носит волновой характер. Он соответствует высоте зоны расслоений, что подтверждено инструментальными маркшейдерскими наблюдениями. Волновой характер обусловлен тем, что при переходе деформаций к очередному типу пород вначале скорость развития деформаций снижается, а затем, по мере перемещения по этим породам, увеличивается. Скорость перемещения деформаций выше зоны расслоений носит практически прямолинейный характер. Она значительно выше скоростей деформаций, которые происходят до зоны расслоений.

Показано, что только та часть горных пород проявляет себя как горное давление, которая в результате сдвижения отделилась от массива, а подрабатываемый массив потерял сплошность. Горное давление в виде объема разрушенных пород подработанного горного массива зависит от высоты зоны расслоений, параметров сдвижения, параметров очистного забоя, скорости развития деформаций растяжений в ненарушенном массиве. Регулирование (уменьшение) горного давления возможно путем увеличения скорости перемещения очистного забоя, что приведет к уменьшению объема разрушенных горных пород. При большой производительности комплекса по выемке угля длина лавы не оказывает существенного влияния на величину объема разрушенных пород, проявляющих себя как горное давление. В тоже время, чем меньше производительность комплекса и чем больше длина лавы, тем больше объем разрушенных горных пород и, соответственно, больше горное давление.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Донецкого национального технического университета и УкрНИМИ НАН Украины за экспериментальные исследования, использованные в данной статье и поддержке.

### REFERENCES

- Bulat, A.F. (2004). Rock Deformation Problems. *International Applied Mechanics*, 40(12), 1311-1322. <https://doi.org/10.1007/s10778-005-0039-y>

- Chetverik, M.S., & Androschuk, E.V. (2004). *Teoriya sdvzheniya massiva gornyx porod i upravleniya deformatsionnyimi protsessami pri podzemnoy vyemke uglia*. Dnipropetrovsk: RIA Dnepr-VAL.
- Duncan, G., & Paschedag, U. (2011). Longwall and Top Coal Caving – Modern Technology Applied at a New Mine in Australia. *Coal International*, (66), 253-270.
- Havrylenko, Yu.N., Papazov, N.M., & Morozova, T.V. (2000). Dinamika osedaniy zemnoy poverkhnosti pri bolshoy glubine razrabotki i vysokoy skorosti podviganiya zaboya. *Ground Control in Mining*, (4), 108-119.
- Ivanov, O.S. (2011). *Zakonomirnosti zminy stiikosti pidhotovchyykh vyrobok vuhilnykh shakht z urakhuvanniam shvydkosti posuvannya vyboiu lavy*. Ph.D. Natsionalnyi Hirnychiy Universytet.
- Kulibaba, S.B. (2004). Issledovaniya skorosti rasprostraneniya protsessa sdvzheniya v podrabatyvaemom massive gornyx porod. *Visti Donetskoho Hirnychoho Instytutu*, (1), 78-82.
- Mark, C., Mucho, T.P., & Dolinar, D. (1998). Horizontal Stress and Longwall Headgate Ground Control. *Mining Engineering*, (36), 61-68.
- Shevchenko, V.G., & Zaitsev, M.S. (2014). Simulation of Safe Working Conditions When Using the Device Obtaining More Information about Mining Objects. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 105-113.
- Weisdack, G.V., & Kvitkovich, J.F. (2005). Importance of Longwall Mining to the Coal Industry. *Mining Engineering*, (57), 21-26.
- Yasin, S., Umetsu, K., Tatsuoka, F., Arthur, J., & Dunstan, T. (1999). Plane Strain Strength and Deformation of Sands Affected by Batch Variations and Different Apparatus Types. *Geotechnical Testing Journal*, 22(1), 80-100. <https://doi.org/10.1520/GTJ11318J>

## ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Обоснование на основе инструментальных маркшейдерских измерений скорости перемещения деформаций растяжений в горном массиве для их использования при управлении горным давлением и обеспечения безопасности горных разработок.

**Методика.** В статье на основе статистической обработки инструментальных маркшейдерских наблюдений с использованием теории послойно-блочного обрушения пород горного массива определены скорости развития деформаций в различных типах пород.

**Результаты.** Обобщены инструментальные маркшейдерские наблюдения за сдвижением массива горных пород и поверхности. На их основе определена скорость перемещения деформаций. Установлена взаимосвязь между скоростью перемещения деформаций, скоростью перемещения очистного забоя, глубиной разработки, высотой зоны расслоений. Исходя из параметров динамической мульды сдвижения, установлен объем разрушенных пород, который проявляет себя как горное давление.

**Научная новизна.** Впервые, на основе инструментальных наблюдений, определена скорость перемещения деформаций растяжений в породах различной степени литификации. Определена высота зоны расслоений в массиве подработанных горных пород на основе установленной взаимосвязи между скоростью перемещения деформаций, скоростью перемещения очистного забоя, шагом обрушения основной кровли. Значение высоты зоны расслоения предопределяет величину горного давления.

**Практическая значимость.** Полученные данные о скорости перемещения деформаций в подработанном горном массиве позволяют управлять горным давлением, повышать эффективность горных разработок и их безопасность.

**Ключевые слова:** подземные горные работы, скорость деформаций, динамическая мульда, маркшейдерские наблюдения за сдвижением

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Обґрунтування на основі інструментальних маркшейдерських вимірювань швидкості переміщення деформацій розтягнень у гірському масиві для їх використання при управлінні гірським тиском і забезпечення безпеки гірничих розробок.

**Методика.** В статті на основі статистичної обробки інструментальних маркшейдерських спостережень із використанням теорії пошарово-блочного обвалення порід гірського масиву визначені швидкості розвитку деформацій у різних типах порід.

**Результати.** Узагальнено інструментальні маркшейдерські спостереження за зрушенням масиву гірських порід і поверхні. На їх основі визначено швидкість переміщення деформацій. Встановлено взаємозв'язок між швидкістю переміщення деформацій, швидкістю переміщення очистного вибою, глибиною розробки, висотою зони розшарувань. Виходячи з параметрів динамічної мульди зрушення, встановлений обсяг зруйнованих порід, який проявляє себе як гірський тиск.

**Наукова новизна.** Вперше, на основі інструментальних спостережень, визначена швидкість переміщення деформацій розтягнень у породах різного ступеню літфікації. Визначено висоту зони розшарувань у масиві підроблених гірських порід на основі встановленого взаємозв'язку між швидкістю переміщення деформацій, швидкістю переміщення очистного забою, кроком обвалення основної покрівлі. Значення висоти зони розшарування зумовлює величину гірського тиску.

**Практична значимість.** Отримані дані про швидкість переміщення деформацій в підробленому гірському масиві дозволяють управляти гірським тиском, підвищувати ефективність гірничих розробок та їх безпеку.

**Ключові слова:** підземні гірничі роботи, швидкість деформацій, динамічна мульда, маркшейдерські спостереження за зрушенням

## **ARTICLE INFO**

Received: 12 December 2016

Accepted: 10 February 2017

Available online: 30 March 2017

## **ABOUT AUTHORS**

Mykhailo Chetveryk, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a Simferopolska St, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [chetverik.mihail@inbox.ru](mailto:chetverik.mihail@inbox.ru)

Olena Bubnova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a Simferopolska St, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [bubnova@nas.gov.ua](mailto:bubnova@nas.gov.ua)

Kateryna Babiy, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named after M.S. Polyakov of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a Simferopolska St, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: [katebabiy@yandex.ua](mailto:katebabiy@yandex.ua)