

примере Рыбальского гранитного карьера: Дис. кан. техн. наук: 05.15.03. – Днепропетровск, 1994. – 128 с.

14. Симоненко В.И. Разработка энергосберегающей технологии добычи скальных нерудных полезных ископаемых Украины.: Дис. док. техн. наук: 05.15.03. – Днепропетровск, 2004. – 467 с.

15. Фисенко Г.Л., Мироненко В.А. Дренаж карьерных полей. – М.: Недра, 1972. – 185 с.

16. Разработка рудных месторождений / Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Выпуск № 13. – Киев: Техника, 1972. – 143 с.

17. Генеральный план комплексного развития Токовского месторождения гранитов: Отчет о НИР (заключительный) / Государственная горная академия Украины (ГГАУ); Руководитель А.Ю. Дриженко. – Днепропетровск, 1995. – 52 с.

**УДК 624.131.379**

Асп. А.В. Яворский

(Национальный горный университет)

## **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ФРОНТА ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА СКОРОСТЬ ОСЕДАНИЯ СЛОИСТОГО ПОРОДНОГО МАССИВА**

На підставі рішення диференціального рівняння пластичності для однорідного породного масиву і чисельного рішення плоскої задачі геомеханіки методом граничних елементів визначена швидкість осідання земної поверхні при підробці шаруватого масиву, з урахуванням швидкості переміщення очисного вибою в умовах шахт Західного Донбасу. Отримані результати необхідні для визначення раціональних параметрів системи розробки під об'єктами, що охороняються.

## **IMPACT OF THE SPEED OF CLEANING MOVEMENT ON THE SPEED OF STRATIFIED ROCK MASSIF SINKING**

On the basis of solving differential equation of elasticity for homogeneous rock massif and numerical solution of geomechanic flat problem by means of boundary elements the speed of surface sinking while underworking stratified massif is determined taking into account the speed of moving breakage face in the conditions of the mines of Western Donbass. These results are necessary for determining rational parameters of developing system under the objects which are secured.

При подземной разработке угольных пластов возникают сдвиги и деформации массива горных пород, включая земную поверхность. На шахтах Западного Донбасса в зону влияния горных работ попадают здания, сооружения, железные дороги, трубопроводы, автодороги, пойма реки Самара и ее притоки и др. Подработка этих объектов по одному или нескольким пластам приводит к их повреждению, заболачиванию больших площадей плодородных земель, лесных массивов. Надугольная толща пород в Западном Донбассе чаще всего сложена малометаморфизированными песчано-глинистыми разностями. Эти породы отличаются слабой крепостью и малой устойчивостью, вследствие чего опускания земной поверхности достигают 90% от вынимаемой мощности пласта [1].

Скорости вертикальных смещений на земной поверхности и внутри подрабатываемого массива зависят от скорости перемещения забоя. Определение этой зависимости и получение количественных оценок необходимо для определения рациональных параметров системы разработки под охраняемыми

объектами.

Исходное дифференциальное уравнение соответствующей плоской задачи геомеханики для однородного породного массива, как известно, по форме совпадает с уравнением пластичности и теплопроводности [2] и имеет вид

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = K(y) \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $\eta = \eta(x, y)$  – вертикальные смещения;  $K(y) = c^2 y$ ;  $c^2$  – безразмерный параметр, зависящий от отношения жесткости породы на сдвиг к жесткости на сжатие.

Решение дифференциального уравнения (1) методом Фурье, описанное в работе [3] при граничных условиях

$$\eta(x, y) \Big|_{y=0} = f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } -\infty < x < D, \quad D < x < \infty \\ -\eta_0 & \text{при } -D < x < D \end{cases}, \quad (2)$$

имеет вид

$$\eta(x, y) = -\frac{\eta_0}{2} \left[ \Phi \left( \frac{D+x}{\sqrt{2\varphi(y)}} \right) + \Phi \left( \frac{D-x}{\sqrt{2\varphi(y)}} \right) \right], \quad (3)$$

где  $\eta_0 = m$  ( $m$  – мощность вынимаемого угольного пласта) – максимальный прогиб кровли пласта при полной подработке;  $2D$  – размер выработанного пространства при полной подработке;  $\varphi(y) = \int K(y) dy = \frac{c^2 y^2}{2}$  – функция, характеризующая жесткость вмещающей породы.

Решение (3) было получено в системе координат ХОУ, начало которой расположено в центре выработки.

Если поместить его в крайнем левом сечении выработки (при этом удобнее проследить за перемещением забоя в одну сторону), граничные условия (2) запишутся в виде

$$\begin{aligned} \eta(x, y) \Big|_{y=0} &= 0, & -\infty < x < D \\ \eta(x, y) \Big|_{y=0} &= \eta_0, & -\infty \leq x \leq 2D \\ \eta(x, y) \Big|_{y=0} &= 0, & 2D < x < +\infty \end{aligned} \quad (4)$$

Соответственно для вертикальных перемещений получим следующее выражение:

$$\eta(x, y) = -\frac{\eta_0}{2} \left[ \Phi \left( \frac{2D-x}{\sqrt{2\varphi(y)}} \right) + \Phi \left( \frac{x}{\sqrt{2\varphi(y)}} \right) \right] \quad (5)$$

Для точек земной поверхности  $y=H$  ( $H$  – глубина разработки) из (5) получим

$$\eta(x, H) = -\frac{\eta_0}{2} \left[ \Phi \left( \frac{2D-x}{\sqrt{2\varphi(H)}} \right) + \Phi \left( \frac{x}{\sqrt{2\varphi(H)}} \right) \right] \quad (6)$$

Скорость вертикального оседания точек земной поверхности определяется как производная по времени от функции (5) следующим образом:

$$U(x, H) = \frac{d\eta}{dt} = \frac{\partial \eta}{\partial D} \cdot \frac{dD}{dt} = -\frac{\eta_0}{2} \Phi' \left( \frac{2D-x}{\sqrt{2\varphi(H)}} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\varphi(H)}} \cdot \frac{2dD}{dt} \quad (7)$$

Учитывая, что скорость подвигания забоя  $v = \frac{d}{dt} 2D = 2 \frac{dD}{dt}$ , из (7) получим

$$U(x, H) = -\frac{\eta_0}{2} \frac{v}{\sqrt{2\varphi(H)}} \Phi' \left( \frac{2D-x}{\sqrt{2\varphi(H)}} \right) \quad (8)$$

В случае слоистого массива каждый из породных слоев можно представить однородной средой с присущими данной породе физико-механическими свойствами.

Тогда функция  $K(y)$  будет кусочно-линейной, т. е.

$$K(y) = \begin{cases} c_1^2 y, & 0 \leq y \leq y_1 \\ c_2^2 y + b_2, & y_1 \leq y \leq y_2 \\ \dots & \dots \\ c_i^2 y + b_i, & y_{i-1} \leq y \leq y_i \\ \dots & \dots \\ c_n^2 y + b_n, & y_{n-1} \leq y \leq y_n, \end{cases} \quad (9)$$

где  $y_i = \sum_{k=1}^i h_k$ ,  $h_k$  – мощность  $k$ -го слоя,  $y_n = H$ ,  $b_i$  – параметры, определяе-

мые геометрией породной толщи.

Чтобы найти функцию  $\varphi(y)$ , входящую в выражения (5), (6), и (8), необходимо проинтегрировать выражение (9). При этом должны быть известны параметры  $c_i^2$ , характеризующие жесткость пород.

Для определения последних выполняется математический эксперимент, заключающийся в численном решении ряда плоских задач геомеханики для весомых массивов с различными физико-механическими свойствами. Исходя из типичной для рассматриваемых условий стратиграфической колонки, массиву поочередно приписываются свойства коренных пород и наносов (табл. 1).

Таблица 1 – Исходные данные по свойствам угля и вмещающих пород

Порода	Физико-механические характеристики			
	$\sigma_c$ , МПа	$\gamma$ , т/м <sup>3</sup>	$E \cdot 10^{-3}$	$\nu$
Наносы (суглинки, пески)	0,6	1,5	0,07	0,25
Средневзвешенные значения для коренных пород	25	2,7	2,2	0,3
Кровля (алевролит, аргиллит)	20	2,65	2,9	0,3
Почва (алевролит)	20	2,65	2,8	0,3
Уголь	35	1,47	2,00	0,4
Разрушенные породы	-	-	0,01	0,499

Значение модуля упругости и коэффициент Пуассона для разрушенных пород брались по графикам работы [4].

Каждый раз расчет по определению напряженно-деформированного состояния исследуемой области массива (рис. 1) производится до тех значений  $\frac{2D}{H}$ , при которых отношение  $\frac{\eta_m}{\eta_0}$  ( $\eta_m$  - максимальное оседание на поверхности) становится близким к единице, что соответствует полной подработке.

После этого параметр  $c_i$  определяется из соотношения  $\frac{\eta_m}{\eta_0} = -\Phi\left(\frac{D}{c_i H}\right)$ , которое получается из (5) при  $x=0$  и  $y=H$ .

Решение производится методом граничных элементов. В качестве базовых используются аналитические соотношения задачи о постоянном разрыве смещения на произвольно ориентированном конечном отрезке в полубесконечной области [5].

Результаты решений применительно к горно-геологическим условиям шахт Западного Донбасса, где наносы мощностью 100...140 м представлены суглинками и песками ( $E \cdot 10^{-4} = 0,006 \dots 0,007$  МПа), а коренные вмещающие породы алевролитами ( $E \cdot 10^{-4} = 0,25 \dots 0,28$  МПа) и аргиллитами ( $E \cdot 10^{-4} = 0,29 \dots 0,3$  МПа), приведены в таблице 2.

Глубина разработки в данных условиях составляет 400...550 м.

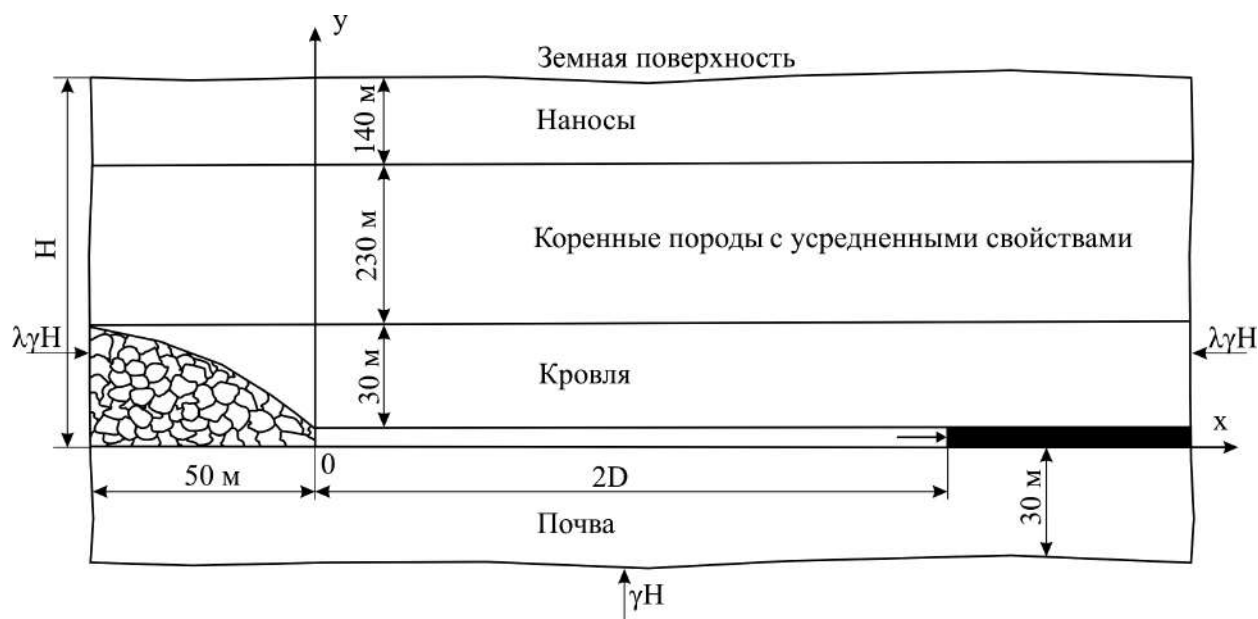
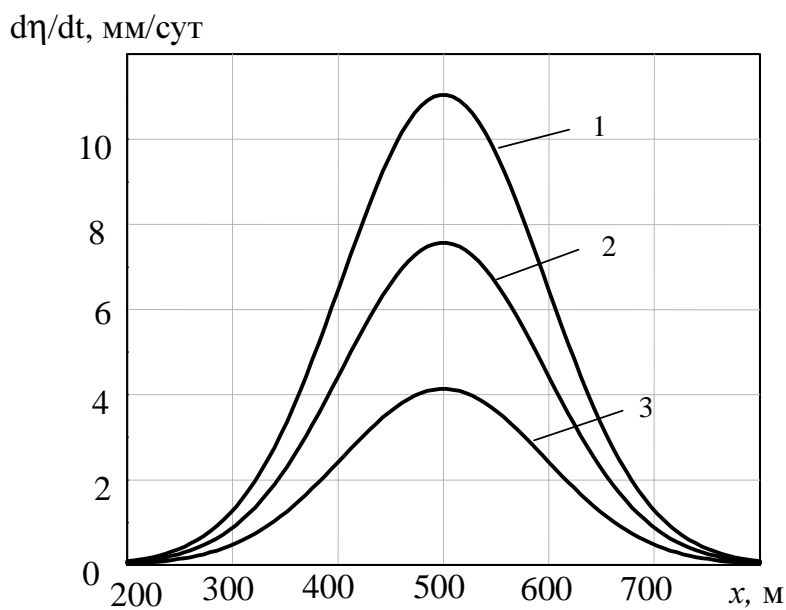


Рис. 1 – Расчетная схема исследуемой области массива

Таблица 2 – Жесткостные параметры слоистого массива

$E \cdot 10^{-4}$ , МПа	0,25	0,28	0,30	0,40	0,007
$c_i$	0,236	0,257	0,270	0,329	0,0334

Для найденных параметров  $c_i$  согласно зависимости (8) построены эпюры скоростей оседаний земной поверхности при различных значениях скорости подвигания фронта очистных работ в случае, когда  $H=450$  м и мощность наносов составляет 140 м (рис. 2).



1 –  $v=30$  м/мес; 2 –  $v=55$  м/мес; 3 –  $v=80$  м/мес

Рис. 2 – Эпюры скоростей оседаний земной поверхности при  $h=140$  м

На рис. 3 показаны эпюры скоростей оседаний земной поверхности при различных значениях мощности наносов для случая, когда скорость подвигания забоя  $v=30$  м/мес и  $H=450$  м.

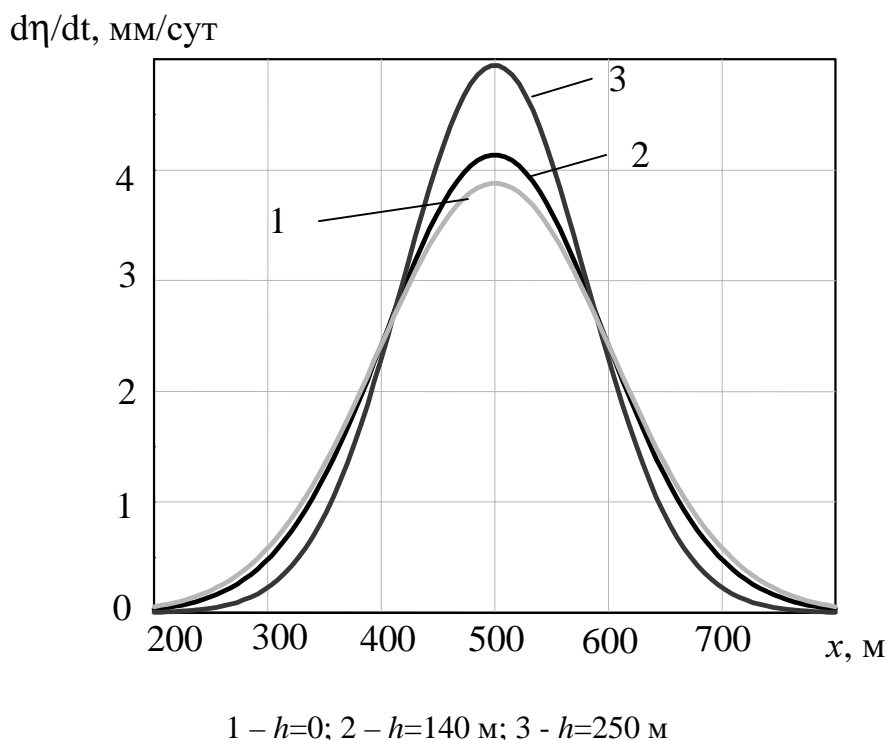


Рис. 3 – Эпюры скоростей оседаний земной поверхности при  $v=30$  м/мес

Приведенные эпюры свидетельствуют о том, что мощность наносов существенно влияет на величину максимальной скорости опускания земной поверхности. Анализ результатов выполненных исследований показал, что это влияние остается заметным и в породной толще. Поэтому модель однородной среды для реального массива горных пород нельзя считать адекватной.

Также следует отметить, что скорость оседаний сильно изменяется с изменением скорости перемещения очистного забоя, и это необходимо учитывать при обосновании технологических параметров систем разработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблема подработки пойм рек в Западном Донбассе / И.Г. Лисица, Г.Т. Василенко, А.И. Воронкин и др. / Уголь Украины, 1974. – № 3. – С. 8-10.
2. Муллер Р.А. Расчет сдвижения горных пород под влиянием подземных разработок при горизонтальном и пологом залегании пород // Исследования по вопросам горного давления и маркшейдерского дела. М.: Углетехиздат, 1957. – Сб. XXXI. – С. 31-57.
3. L. Novikova, L. Zaslavskaya, A. Yavorsky Definition of stiffness coefficient of undermined non-uniform stratified massif / Scientific Bulletin of NMU, 2006, № 5. – P. 32-34.
4. Комиссаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок. – М.: Недра, 1981. – 235 с.
5. S.L. Crouch Solution of plane elasticity problems by the displacement discontinuity method / International journal for numerical methods in engineering. 1976. – Vol. 10. – P. 301-343.