

Раздел 2. Физика горных процессов на больших глубинах

УДК 622.28.83: 622.273

Е.И. Кольчик¹, В.Н. Ревва¹, А.Е. Кольчик¹, К.К. Софийский², И.Е. Кольчик¹

СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ БОЛЬШИХ СКОРОСТЯХ ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

¹ИФГП НАН Украины

²ИГТМ им. С.Н. Полякова НАН Украины

Наведено результати натурних спостережень за зміщеннями земної поверхні при великих швидкостях посування лав та наявності у гірничому масиві потужних породних шарів.

Ключові слова: гірничий масив, гірничі виробки, зона інтенсивного зміщення порід, зміщення порід, зона непружних деформацій, розвантажена зона, зона опорного тиску

E.I. Kolchik, V.N. Revva, A.E. Kolchik, K.K. Sofiisky, I.E. Kolchik

EARTH SURFACE MOVEMENTS AT HIGH-SPEED COAL BED MINING

Field observation results are presented concerning the earth surface movement at high speeds of walls advance and occurrence of thick strata in the rock massif.

Keywords: rock massif, mine workings, intensive rock shift zone, rock shifts, elastic deformation zone, unloaded zones, support pressure zones

Обязательным следствием подземной разработки угольных месторождений являются сдвигения горного массива и земной поверхности, поскольку в процессе отработки угольных пластов происходят разрыхление и обрушение горных пород. При этом нарушается гидрогеологический режим в подработанном массиве. В результате опускания земной поверхности поднимается уровень грунтовых вод, и в некоторых случаях возможно заболачивание подработанных территорий.

Находящиеся на подрабатываемой поверхности здания и сооружения испытывают как горизонтальные, так и вертикальные деформации, что может привести к их разрушению [1–3]. Характер сдвигения горного массива и земной поверхности существенно зависит от глубины разработки, мощности и угла падения разрабатываемого пласта, мощности и физико-механических свойств подрабатываемых породных слоев и др. Кроме этого, на величину и характер смещений земной поверхности большое влияние оказывает скорость подвигания очистных забоев [4,5]. Однако до настоящего времени это влияние детально не изучено, что делает данный вопрос актуальным.

Ранее выполненными исследованиями установлено, что с повышением скорости подвигания очистного забоя длительность процесса сдвижения горных пород уменьшается [4], а с ростом глубины разработки – увеличивается [2,3,5–7]. Однако в указанных работах не затронуты важные вопросы: характер смещений земной поверхности в зависимости от наличия в кровле вынимаемого пласта мощных и прочных породных слоев, а также влияние на эти смещения дизъюнктивной нарушенности.

С целью установления закономерностей воздействия подработки мощных породных слоев, степени нарушенности выемочных участков и интенсивности отработки угольных пластов на смещения горного массива и земной поверхности в ИФГП НАН Украины были проведены исследования. Наблюдения осуществлялись на территориях, подрабатываемых блоками № 6 и 2 шахты «Красноармейская-Западная №1».

В блоке № 6 отработку пласта d_4 проводили одиночными лавами по восставанию, а в блоке № 2 – одиночными лавами по простиранью. Во всех лавах применяли способ управления кровлей полным обрушением. В блоке № 6 выемочные выработки погашали вслед за лавой, а для отработки смежного выемочного поля один ходок проводили вприсечку к выработанному пространству. В блоке № 2 откаточные штреки охраняли со стороны выработанного пространства литой полосой с целью их повторного использования в качестве воздухоподающих.

Основной кровлей у пласта d_4 является песчаник, мощность которого изменялась от 16 до 30 м с пределом прочности на одноосное сжатие 90–105 МПа. Угол падения пласта d_4 в пределах блока № 6 равнялся $\alpha = 4 - 11^\circ$, а в пределах блока № 2 – $\alpha = 11-14^\circ$.

Большинство разрабатываемых в Донбассе шахтопластов пологого и наклонного падения подвержены дизъюнктивной нарушенности [8]. К нарушениям такого типа относятся трещины, сдвиги, сбросы, раздвиги, взбросы и надвиги. Наряду с крупными, непереходимыми в процессе ведения очистных работ геологическими нарушениями в пределах шахтопластов имеется значительное количество мелкоамплитудных дизъюнктивных нарушений, которые отличаются большим разнообразием форм. Такие нарушения присущи всем угольным пластам Донецкого угольного бассейна. В зоне влияния этих нарушений значительно снижаются прочностные свойства углей и горных пород [9]. Кроме этого, наличие геологических нарушений оказывает существенное влияние на смещения земной поверхности.

Известно, что опускание земной поверхности начинается впереди створа движущегося очистного забоя [10]. Причем, чем меньше скорость подвигания лавы, тем на большем расстоянии от проекции ее створа на горизонтальную плоскость происходит опускание земной поверхности. Так, с изменением скорости подвигания очистного забоя с 3 до 8 м/сут протяженность зоны от створа лавы до начала мульды сдвижения уменьшается с 50 до 18 м, т.е. в 2,8 раза (рис. 1).

Одним из первых исследователей, положивших начало в определении параметров кинематики мульды сдвижения земной поверхности, является

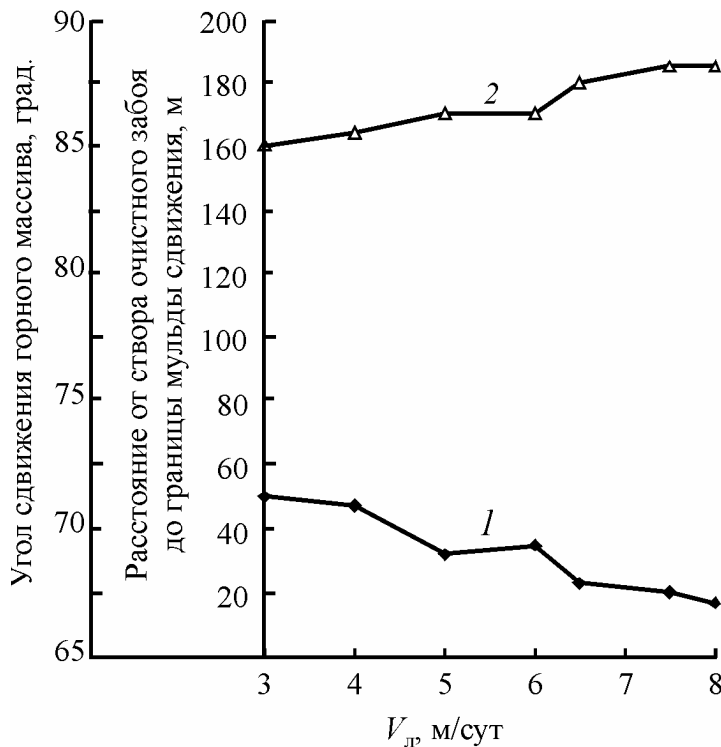


Рис. 1. Изменение расстояния от проекции створа очистного забоя на горизонтальную плоскость до границы мульды сдвига земной поверхности (1) и угла сдвига пород (2) в зависимости от скорости продвижения лавы

С. Кноттэ [10]. Он предложил дифференциальное уравнение для определения величины оседаний поверхности

$$\frac{dW}{dt} = C (W_k - W), \quad (1)$$

где $W = W(t)$ – оседание точки поверхности в момент времени t ; W_k – конечное оседание данной точки земной поверхности; C – коэффициент пропорциональности, учитывающий временной фактор, определяемый экспериментально.

Максимальная кривизна в нижней части мульды сдвига в зависимости от изменения скорости отработки выемочного поля по [10] будет равна

$$K_{\max} = K_{\max.s} \left[1 - \exp\left(-\frac{Cr}{v}\right) \right], \quad (2)$$

где K_{\max} , $K_{\max.s}$ – максимальная кривизна мульды сдвига соответственно в ее нижней части и на конечной стадии ее формирования; r – радиус зоны влияния; v – скорость продвижения очистного забоя.

В результате выполненных исследований установлено, что с повышением скорости продвижения лавы происходят уменьшение расстояния от створа лавы до границы мульды сдвига и увеличение угла сдвига горных пород (см. рис. 1).

После остановки очистного забоя протяженность зоны сдвига земной поверхности увеличивается [11]. В случае отработки выемочных полей, не подверженных нарушениям, максимального размера эта зона достигает через $t = 240$ сут после остановки забоя (рис. 2). При этом скорость увеличения

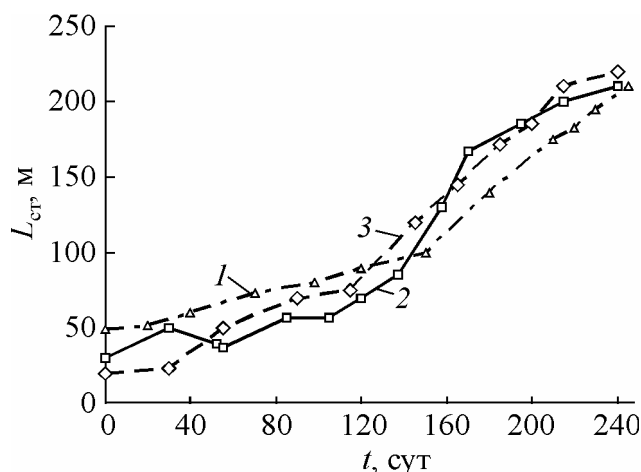


Рис. 2. Изменение расстояния от проекции створа остановленного забоя на горизонтальную плоскость до границы мульды сдвижения поверхности в зависимости от времени. Перед остановкой забой двигался со скоростью $V_{л}$, м/сут: 1 – 3–5; 2 – 6–7; 3 – 7–8

протяженности зоны опускания земной поверхности $V_{оп}$ при различных скоростях подвигания лавы $V_{л}$ различна. В случае подвигания очистного забоя перед его остановкой со скоростью $V_{л} = 3 - 5$ м/сут скорость роста зоны опускания земной поверхности составляет $V_{оп} = 0,67$ м/сут. При повышении скорости движения лавы до $V_{л} = 7 - 8$ м/сут скорость $V_{оп} = 0,83$ м/сут, т.е. увеличивается в 1,24 раза.

После остановки очистного забоя растут не только размеры мульды сдвижения, но и смещения земной поверхности в зоне влияния очистных работ. При этом в зоне, где имело место поднятие земной поверхности, происходит ее опускание. Причем продолжительность последнего до начальной отметки в центре зоны поднятия зависит от скорости подвигания очистного забоя до его остановки (рис. 3, кривые 1–1"). Так, после остановки лавы, которая двигалась со скоростью $V_{л} = 7 - 8$ м/сут, в центре зоны поднятия опускание земной поверхности до нулевого значения происходит через 190 сут, а при $V_{л} = 3 - 5$ м/сут – через 65 сут. После этого земная поверхность опускается ниже нулевой отметки на 3,5 см.

Скорость опускания земной поверхности в средней части зоны поднятия зависит от скорости подвигания лавы до ее остановки:

$$V_{оп} = 0,077 V_{л}, \text{ см/сут}, \quad (3)$$

где $V_{оп}$ – средняя скорость опускания земной поверхности в зоне поднятия, см/сут; $V_{л}$ – скорость подвигания лавы до ее остановки, м/сут.

На границе мульды сдвижения после остановки очистного забоя происходит опускание земной поверхности (рис. 3, кривая 2), причем в первые 120 сут после остановки очистного забоя земная поверхность опускается всего на 2 см при $V_{оп} = 0,017$ см/сут. В дальнейшем величина $V_{оп}$ возрастает до 0,17 см/сут. Через 250 сут после остановки лавы смещения земной поверхности практически прекращаются: $U = 24$ см, что составляет 41 % от полных смещений подработанной поверхности.

Над створом остановленного забоя величина опускания земной поверхности увеличивается до 29 см, при этом $V_{оп} = 0,09$ см/сут (рис. 3, кривая 3).

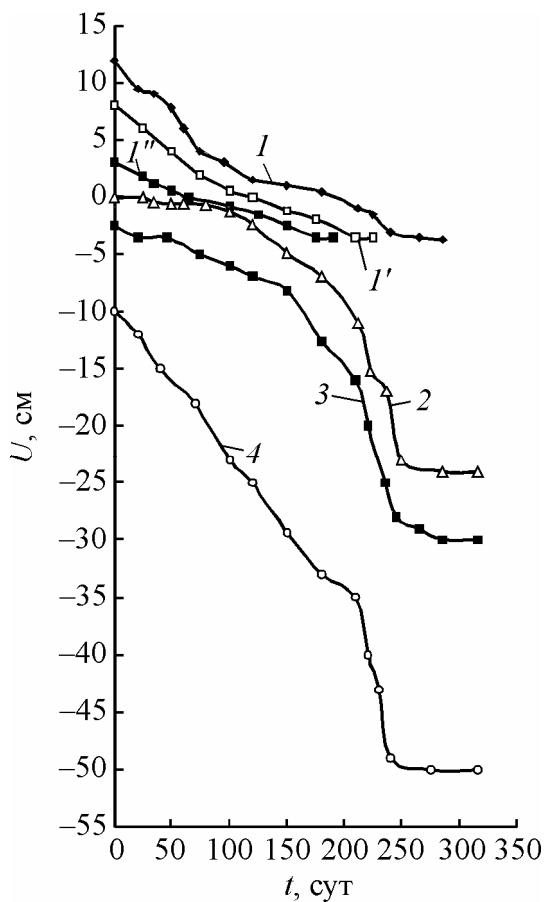


Рис. 3. Изменение величины смещений земной поверхности U после остановки забоя в зависимости от времени t : 1, 1', 1'' – в центре зоны поднятия при $V_{л}$, равной соответственно 7–8; 6–7 и 3–5 м/сут; 2 – на границе мульды сдвижения (18 м от створа лавы, $V_{л} = 7–8$ м/сут); 3 – в створе лавы; 4 – на расстоянии 100 м от створа лавы (над выработанным пространством)

ния и ее протяженность будут меньшими, чем при отработке пласта на участках, где нарушения отсутствуют. С уменьшением протяженности зависящей консоли происходит уменьшение длины зоны временного опорного давления и разгруженной зоны.

В результате выполненных исследований установлено, что при протяженности разгруженной зоны менее 36 м поднятие земной поверхности не наблюдается.

Протяженность разгруженной зоны впереди зоны временного опорного давления $L_{раз}$ зависит от скорости подвигания очистного забоя $V_{л}$, расстояния между мелкоамплитудными дизъюнктивными нарушениями $L_{н}$ и длины зависящей породной консоли $L_{к}$:

Через 275 сут над выработанным пространством опускание земной поверхности $U = 50$ см (рис. 3, кривая 4), при этом $V_{оп} = 0,145$ см/сут.

Известно, что геологические нарушения, встречающиеся в выемочных полях, оказывают существенное влияние на перераспределение напряжений и формирование зоны опорного давления. Причем при расстоянии между геологическими дизъюнктивными нарушениями менее 500 м происходит уменьшение длины зависящей над выработанным пространством породной консоли, а следовательно, и протяженности зоны временного опорного давления и разгруженной зоны впереди лавы [12–14].

С появлением разгруженной зоны впереди зоны временного опорного давления на поверхности возникает зона поднятия (рис. 4).

Геологические нарушения делят мощные породные слои и весь горный массив на блоки. Поэтому при ведении очистных работ на участках с породами, подверженными дизъюнктивной нарушенности, зависаний породных консолей не будет, и концентрация напряжений в зоне временного опорного давле-

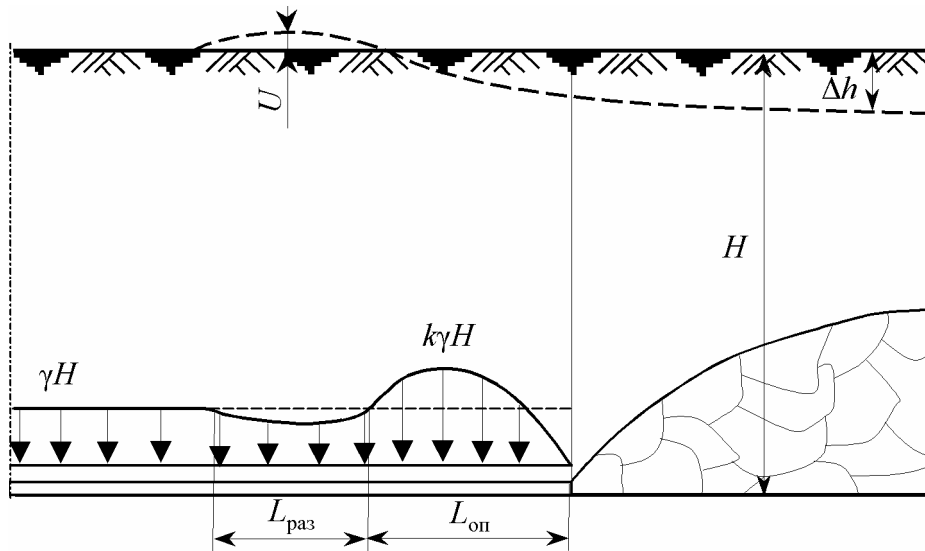


Рис. 4. Схема смещений земной поверхности

$$L_{\text{раз}} = 1,8 L_{\text{к}} - (8,7 - 0,0174 L_{\text{н}}) (V_{\text{л}} + 1) - 8, \text{ м.} \quad (4)$$

При $L_{\text{н}} < 430$ м и скорости подвигания лавы до 3 м/сут поднятие земной поверхности не происходит. При $V_{\text{л}} > 7$ м/сут наблюдается поднятие земной поверхности даже при $L_{\text{н}} < 50$ м. На основании выполненных исследований построена номограмма (рис. 5), с помощью которой можно определить величину поднятия земной поверхности при различной скорости подвигания лавы, наличии мощных породных слоев в кровле пласта и нарушений в выемочном поле.

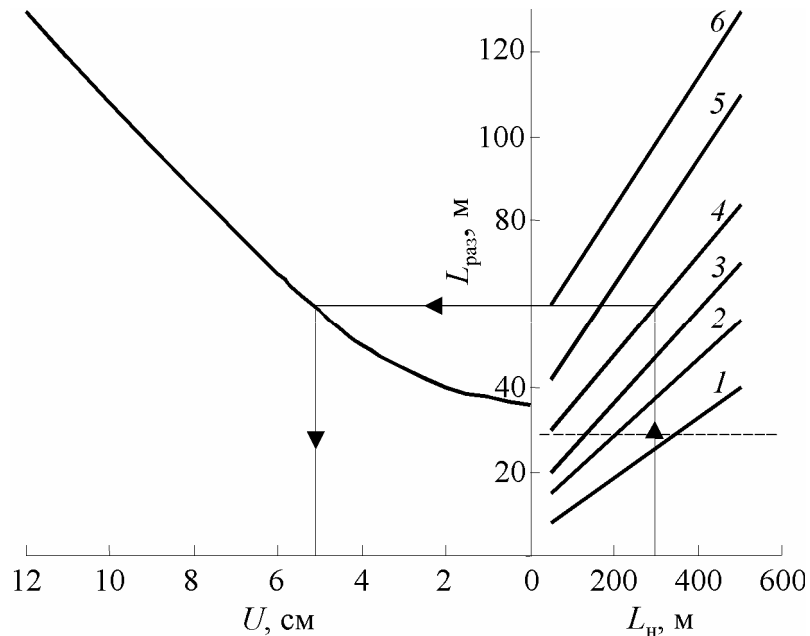


Рис. 5. Номограмма для определения величины поднятия земной поверхности U при различных скоростях движения очистного забоя $V_{\text{л}}$, м/сут: 1 – 3, 2 – 4, 3 – 5, 4 – 6, 5 – 7, 6 – 8

Из изложенного можно сделать следующие *выводы*:

1. На сдвигения земной поверхности большое влияние оказывает скорость подвигания очистного забоя. С повышением скорости подвигания лавы с 3 до 8 м/сут увеличивается и поднятие земной поверхности с 3 до 12 см.

2. После остановки очистного забоя мульда сдвигения земной поверхности достигает максимальных размеров через 240 сут.

3. Установлена закономерность изменения скорости опускания земной поверхности в средней части зоны поднятия после остановки лавы в зависимости от скорости ее подвигания до остановки.

4. Величина поднятия земной поверхности прямо пропорционально зависит от протяженности разгруженной зоны впереди зоны временного опорного давления. При протяженности разгруженной зоны менее 36 м поднятия земной поверхности не возникают.

5. Значительное влияние на характер смещения земной поверхности оказывает степень нарушенности выемочных полей. При расстоянии между нарушениями и лавой более 500 м влияние нарушений на поднятие земной поверхности отсутствует.

1. Бубнова Е.А. Горизонтальные деформации в динамической мульде сдвигения // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ. – 2006. – № 62. – С. 127–133.
2. Сдвигение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / Под общ. ред. А.А. Букринского. – М.: Недра, 1984. – 247 с.
3. Кратч Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений. – М.: Недра, 1978. – 494 с.
4. Мустафин М.Г. Влияние скорости подвигания очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта / Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ. – 2008. – № 1. – С. 17–22.
5. Гавриленко Ю.Н., Папазов Н.М., Морозова Т.В. Динамика оседания земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя // Проблемы гірського тиску. – Донецьк, 2000. – № 4. – С. 108–119.
6. Сдвигение горных пород и земной поверхности в главнейших угольных бассейнах СССР. – М.: Углетехиздат, 1958. – 248 с.
7. Сдвигение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений // А.Г. Акимов, В.Н. Земисев, Н.Н. Кацнельсон и др. – М.: Недра, 1970. – 224 с.
8. Прогнозный каталог шахтопластов Донецкого угольного бассейна с характеристикой геологических факторов и явлений. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1983. – 499 с.
9. Иванов Б.М., Фейт Г.Н., Яновская М.Ф. Механические и физико-химические свойства углей выбросоопасных пластов. – М.: Наука, 1979. – 195 с.
10. Knothe S. Rownanie profile ostatecznie wykształconej niecki osiadania // Archiwum Gornictwa i Hutnictwa, t.1. – Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe. – 1953. – Z. 22–38.

Физика горных процессов на больших глубинах

11. *Кольчик А.Е., Кольчик И.Е.* Исследование динамики сдвижения земной поверхности после прекращения ведения очистных работ // Матеріали конференції «Геотехнології і охорона праці у гірничій промисловості». – Красноармійськ: КП ДонНТУ, 2008. – С. 7–12.
12. *Кольчик Е.И.* Определение параметров зоны влияния очистной выемки при больших скоростях подвигания лав // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2007. – № 2. – С. 32–36.
13. *Кольчик Е.И.* Изменение протяженности зоны опорного давления // Геотехнологии и управление производством XXI века. – Донецк: ДонНТУ. – 2007. – С. 8–13.
14. *Джензля Б.* О влиянии скорости подземной разработки на величину деформаций земной поверхности // Известия Донецкого горного института. – 1996. – № 1(3). – С. 78–84.

Статья поступила в редакцию 18 марта 2009 года