

УДК 622.268.1

А.В. Савенко¹, Е.Д. Нагорная²

ИССЛЕДОВАНИЯ СДВИЖЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

¹ Ассоциация «НПО «Механик»

² Институт физики горных процессов НАН Украины

Выполнен анализ оседания земной поверхности и сдвижения массива горных пород на больших глубинах. Доказано, что развитие деформационных процессов в массиве горных пород происходит с ускорением. Изменение знака ускорения оседания земной поверхности указывает на чередование сжимающих и растягивающих напряжений.

Добыча угля современными технологиями со скоростями подвигания очистных забоев до 200 м/мес. сопровождается техногенными воздействиями на всю геологическую толщу горных пород, находящуюся над вынимаемым пластом и частично под пластом. Видимым проявлением этого является сдвижение земной поверхности и горное давление. Теоретическое представление о сдвигении горного массива и земной поверхности, наиболее соответствующее реально происходящему процессу, позволяет описать, объяснить и предвидеть явления, которые могут возникнуть при подземной выемке угля.

Сдвигения земной поверхности, которые происходят вследствие выемки угля и опускания всего массива горных пород, достаточно хорошо изучены. Однако методы расчета величин оседания земной поверхности, разработанные для охраны подрабатываемых объектов, ограничены и предназначены для глубин отработки до 800 м и скоростей подвигания лавы до 80 м/мес. Недостаточно исследованной остается взаимосвязь параметров сдвижений массива горных пород с параметрами очистного забоя при больших скоростях его перемещения на значительных глубинах отработки. Современные скорости подвигания очистных забоев влияют на перераспределение напряжений и продолжительность развития деформаций растяжения и сжатия в динамической мульде сдвижения и, соответственно, на параметры оседания земной поверхности.

Современные тенденции в развитии угольной промышленности Украины – широкое внедрение высокопроизводительных механизированных комплек-

сов и ведение интенсивной добычи на глубинах более 800 м - обуславливают актуальность изучения процессов сдвижения массива горных пород и земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости ведения очистных работ.

При подземной добыче угля массив горных пород находится в динамическом состоянии. В 1997 году специалистами ДонГТУ Гавриленко Ю.Н., Папазовым Н.М., Морозовой Т.В. были выполнены инструментальные наблюдения за смещениями массива горных пород и земной поверхности на территории шахтного поля АП «Шахта им. А.Ф.Засядько» [1]. Исследования проводились одновременно с началом работ в 13 западной лаве пл. *тз*.

Выбор объекта исследования обоснован большой глубиной ведения работ и высокой скоростью подвигания очистного забоя. Работы в лаве велись на глубине 1195 м. Мощность пласта достигала 2,3 м. Длина лавы – 250 м, а длина столба – 1800 м. Лава была оборудована механизированным комплексом ЗКД90 и комбайном 1ГШ68. Отработка столба велась обратным ходом по сплошной системе отработки без оставления целиков. Способ управления кровлей – полное обрушение.

На основании инструментальных наблюдений в работе [1] сделан вывод, что скорость оседания земной поверхности при глубине ведения работ 1200 м и скорости подвигания очистного забоя до 100 м/мес. достигает 50–60 мм/мес. Продолжительность сдвижений в этих условиях составляет от 17 до 20 месяцев. С использованием данных инструментальных замеров [1], выполненных специалистами ИГТМ НАН Украины Четвериком М.С. и Андрощук Е.В, приведен расчет параметров оседания поверхности [2]. В результате аналитических исследований расчетное время сдвижений оценивается в 20 месяцев. Расхождения в оценке результатов исследования не велики и говорят о различиях в подходе к решению этой задачи.

Из материалов исследований [1] видно, что процессы деформации земной поверхности происходят с различной скоростью в разные периоды времени. Неоднородность скоростей опускания земной поверхности вследствие ведения горных работ указывает на наличие ускорения (замедления) в процессе развития деформационных процессов в толще горных пород и на поверхности земли. Очевидно, что изменение скорости развития деформационных процессов в породном массиве связано с изменением напряженно-деформированного состояния массива горных пород от очистного забоя до дневной поверхности. Действительно, если приращение площади достаточно мало и им можно пренебречь, то изменение ускорения обуславливает изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

При ведении очистных работ на пологих пластах растягивающие напряжения, обусловленные выемкой угольного пласта, приложены перпендикулярно к напластованию. По закону Гука сила упругого растяжения пропорциональна деформациям, поэтому растягивающую силу можно представить в виде:

$$F = k \cdot \Delta h, \text{ Н}, \quad (1)$$

где Δh – изменение мощности слоя при обнажении его в процессе выемки комбайном, м; k – коэффициент упругости, который можно представить в виде [3]:

$$k = E \frac{S}{h}, \quad (2)$$

где h – мощность слоя, м.

Подставив выражение (2) в (1) получим:

$$\bar{m}a = E \frac{S\Delta h}{h}, \text{ Н}, \quad (3)$$

причем отношение $\frac{\Delta h}{h}$ – это деформации слоя.

Произведя преобразования, получим:

$$\bar{a} = \frac{E \cdot \varepsilon}{h \cdot \gamma}, \text{ м/с}^2, \quad (4)$$

где E – модуль упругости Юнга, Па; ε – относительные деформации, ед.; γ – объемный вес пород, кг/м³.

Из выражения (4) следует, что ускорение процессов деформации в массиве горных пород и на поверхности земли обусловлено мощностью отдельного слоя и его физико-механическими характеристиками.

На основании этого было принято решение о проведении аналитических исследований процесса сдвижения массива горных пород по имеющимся материалам натуральных наблюдений и данных нормативного документа [4].

Для анализа и формализации зависимости скорости развития деформаций использовались материалы нормативного документа [4] и исследований, приведенных в работе [1].

Предельная глубина разработки в этом нормативном документе составляет 1000 м, а наибольшая скорость подвигания очистного забоя не превышает 70 м/мес. Поэтому воспользоваться этими данными для определения продолжительности процесса сдвижений на больших глубинах и при значительных скоростях подвигания очистных забоев не представляется возможным. Исходя из этого, принято решение о прогнозе скорости развития деформаций на основании имеющихся данных [4] для глубин более 1000 м и скоростей подвигания очистного забоя более 70 м/мес. Массив данных обработан при помощи МГУА [5, 6]. В результате обработки получена эмпирическая зависимость скорости деформаций от глубины разработки, скорости подвигания очистного забоя и продолжительности процесса сдвижений:

$$V_d = -6,3 \cdot 10^{-6} t_d^3 - 0,004 t_d + 1,1 \cdot 10^{-5} v_{03}^3 - 0,0002 v_{03}^2 + 0,0014 H_p + 1,6, \text{ м/мес}, \quad (5)$$

где V_d – скорость развития деформаций по плоскости сдвижения, м/сут.; v_{03} – скорость подвигания очистного забоя, м/мес. ($30 < v_{03} < 150$); H_p – глубина

разработки, м ($300 < H_p < 1500$); t_d – продолжительность процесса сдвижений, мес. ($0 < t_d < 50$).

Относительная ошибка в поле исходных данных для зависимости (5) составляет менее 10%, что является достаточной точностью для решения задач в горном деле.

Видимым проявлением распространения деформационных процессов в массиве горных пород является оседание земной поверхности. Время начала оседания поверхности, продолжительность активной стадии и период затухания этого процесса находятся в зависимости от скорости распространения деформаций в толще горных пород, причем скорость оседания земной поверхности не одинакова в течение всего периода оседания [7, 8]. Максимальное значение скорости деформации земной поверхности разделяет зоны деформаций растяжения и сжатия. Однако по изменению скорости оседания поверхности земли определить время смены напряжений затруднительно. Наиболее точно определить время чередования напряжений возможно при вычислении значений ускорения смещений, поскольку значения ускорения в это время должны принимать нулевые значения.

Наибольший интерес представляют сдвигения, возникающие в горном массиве при отработке угольных пластов на глубинах более 1000 м и при скоростях подвигания очистного забоя свыше 90 м/мес. В качестве исходных данных для формализации зависимостей ускорения приняты результаты маркшейдерских наблюдений за оседаниями земной поверхности, выполненных на арендном предприятии АП «Шахта им. А.Ф. Засядько» в 1997 г. при глубине работ 1170–1280 м и скорости подвигания очистного забоя 90–100 м/мес. [1].

По результатам маркшейдерских наблюдений за оседаниями поверхности сделан вывод, что процесс смещения поверхности состоит из трех стадий: начальной, активной и затухания [1].

Исходя из того, что максимальные смещения происходят в течение активной фазы, целесообразно исследовать именно этот период времени. Данные инструментальных наблюдений, соответствующие активной фазе оседания, проанализированы при помощи метода группового учета аргументов. В результате получена зависимость (6) смещений поверхности от времени:

$$h = 7,54276 \cdot 10^{-6} t^3 - 0,00699614 t^2 + 709,311, \text{ мм}, \quad (6)$$

где h – оседание земной поверхности, мм; t – продолжительность процесса оседания, сут.

Для дальнейшего анализа уравнение (6) продифференцировано по времени и получено выражение (7) скорости оседаний земной поверхности от времени для данных горногеологических и горнотехнических условий:

$$v_{oc} = 2,26283 \cdot 10^{-5} t^2 - 0,01399228 t, \text{ мм/сут.}, \quad (7)$$

где v_{oc} – скорость оседания земной поверхности, мм/сут.

Результаты расчетов по формуле (7) приведены на рис. 1 (кривая 1).

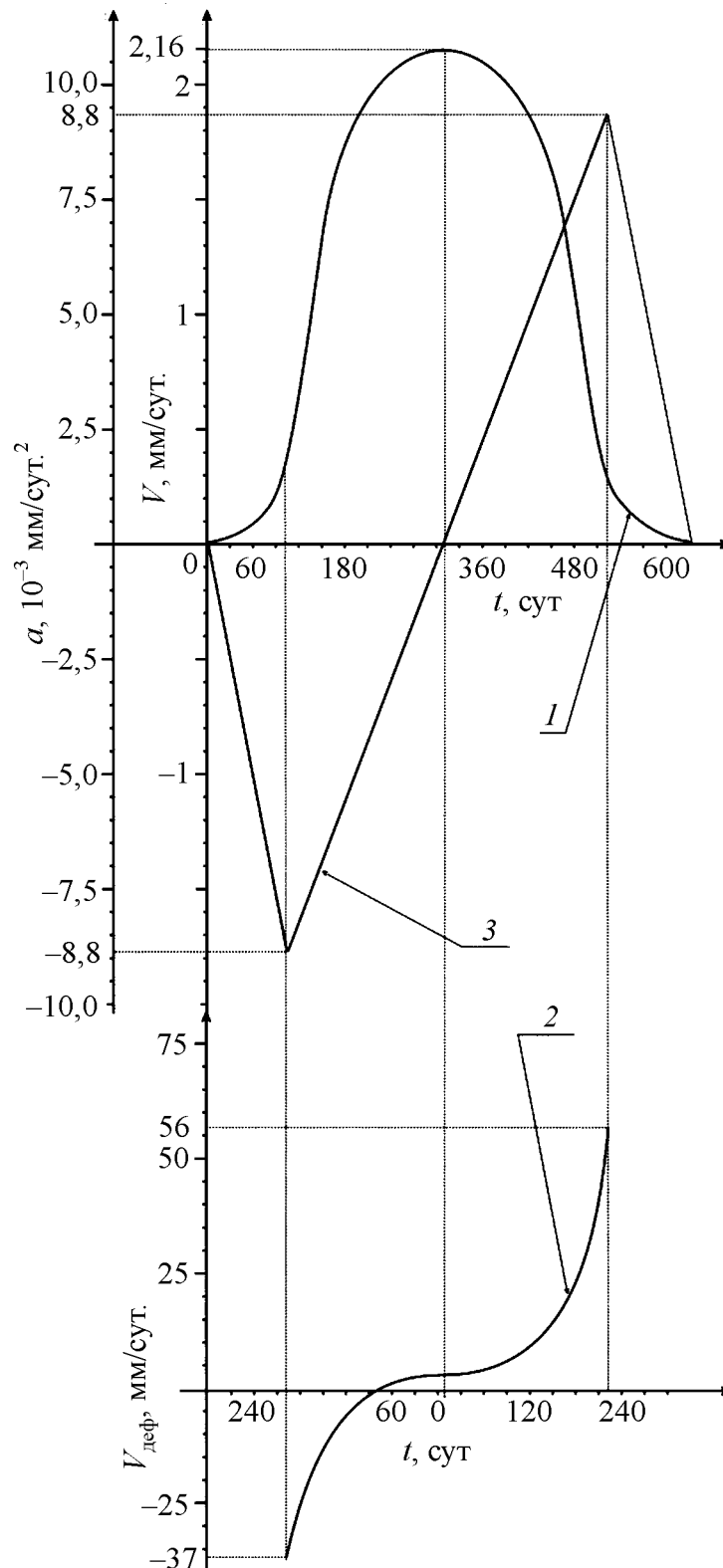


Рис. 1. Совмещенные графики скорости и ускорения оседания поверхности земли и скорости деформации массива горных пород по плоскости сдвига: 1 – скорости оседания поверхности земли, 2 – скорости деформации массива горных пород по плоскости сдвига, 3 – ускорения оседания поверхности земли

Анализ результатов расчета и графика показал, что параметры скорости оседания земной поверхности, вычисленные по формуле (7) и приведенные в работе [1], близки по значению. Максимальные значения скорости, вычисленные по предложенной зависимости (7), – 64 мм/мес. Выводы, сделанные в источнике [1], указывают на значение максимальной скорости 60 мм/мес. Относительная ошибка в поле исходных данных для формулы (6) составляет не более 7%.

Двойное дифференцирование зависимости (6) по времени позволило формализовать ускорение процессов оседания земной поверхности (8):

$$a = 4,52566 \cdot 10^{-5} t - 0,01399228, \text{ мм/сут}^2. \quad (8)$$

По зависимости (8) рассчитаны значения ускорения смещений поверхности и построен график (кривая 3, рис. 1) для условий АП «Шахта им. А.Ф. Засядько», приведенных в работе [1].

Из графиков видно, что ускорение оседания поверхности принимает максимальные значения в начальный и конечный период фазы активных деформаций. Наиболее важным является изменение знака ускорения. Время, при котором ускорение меняет знак, указывает на момент смены напряжений растяжения и сжатия при оседании земной поверхности.

Для дальнейшего анализа полученных результатов проведен расчет значений скорости развития деформационных процессов в массиве горных пород по установленной зависимости (5). К расчету принимались глубина разработки, скорость подвигания забоя, время процесса активной стадии оседания в соответствии с [1].

Проведенные исследования (рис. 1) показали, что скорость развития деформаций в горном массиве по плоскости сдвижения не одинакова. Время, при котором скорость принимает нулевое значение, указывает на смену напряжений растяжения и сжатия в массиве горных пород. Разница между временем, когда ускорение оседания поверхности земли и скорость развития деформаций в массиве горных пород принимают нулевые значения, равна 78 сут. Этот период времени отличается на 8,2% от расчетного [2] и полученного в ходе маркшейдерских измерений [1] запаздывания между началом оседания реперов 1 и 8 на поверхности, что подтверждает точность зависимости (5).

Проведенный анализ доказывает, что развитие деформационных процессов в массиве горных пород по плоскости сдвижения и оседание поверхности земли вследствие ведения очистных работ происходят с ускорением. Причем изменение знака ускорения оседания земной поверхности указывает на чередование напряжений растяжения и сжатий в динамической мульде сдвижения. Если значение времени, при котором скорость развития деформаций принимает нулевое значение, меньше значения времени, при котором ускорение оседания поверхности земли меняет знак, это указывает на то, что зона расслоений не доходит до поверхности земли.

Очевидно, что проблемы сдвижений массива горных пород и земной поверхности, особенно при ведении очистных работ на глубинах более 1000 м

и при скоростях подвигания забоев свыше 90 м/мес., необходимо решать с использованием комплексного подхода. При этом следует учитывать факторы, влияющие на состояние массива горных пород, такие как скорость подвигания очистного забоя, глубина разработки и свойства пород, слагающих толщу.

1. *Гавриленко Ю.Н.* Динамика оседаний земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя [Текст] / Ю.Н. Гавриленко, Н.М. Папазов, Т.В. Морозова // Проблемы гірського тиску: Зб. наук. праць – Вип. 4 – Донецьк: Донецький національний технічний університет – 2004. – С. 108–119.
2. *Четверик М.С.* Теория сдвижений массива горных пород и управление деформационными процессами при подземной выемке угля [Текст] / М.С. Четверик, Е.В. Андрощук. - Днепропетровск: РИА "Днепр-VAL", 2004. – 148 с.
3. *Булычев Н.С.* Механика подземных сооружений в примерах и задачах [Текст] / Н.С. Булычев: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1989. – 270 с.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях [Текст] / Утв. Минуглепром СССР. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
5. *Антипов И.В.* Моделирование производственных процессов методом группового учета аргументов [Текст] / И.В. Антипов, А.Н. Шкуматов // Проблемы экологии. – Общегосударственный научно-технический журнал. – 2000. – № 1. – С. 5–9.
6. *Антипов И.В.* Моделирование надежности технологических процессов методом группового учета аргументов [Текст] / И.В. Антипов, М.В. Корнеев // Теория и практика проектирования, строительства и эксплуатации высокопроизводительных подземных рудников. – М., 1990. – С. 202–203.
7. *Кулибаба С.Б.* Исследование скорости распространения процесса сдвижения в подрабатываемом массиве горных пород [Текст] // Вісті Донецького гірничого інституту, 2004. – №1. – С. 78–82.
8. *Кулибаба С.Б.* Расчет сдвижений и деформаций толщи горных пород при подземной разработке угольных месторождений [Текст] / С.Б. Кулибаба // Геологія і геохімія горючих копалин. – №4. – 1998. – С. 98–100.

А.В. Савенко, К.Д. Нагорна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРУШЕННЯ ГІРСЬКОГО МАСИВУ НА ВЕЛИКИХ ГЛИБИНАХ ПРИ ВИСОКИХ ШВИДКОСТЯХ ПОСУВАННЯ ОЧИСНОГО ЗАБОЮ

Виконано аналіз осідання земної поверхні й зрушення масиву гірських порід на великих глибинах. Доведено, що розвиток деформаційних процесів у масиві гірських порід відбувається з прискоренням. Зміна знака прискорення осідання земної поверхні вказує на чергування стискаючих і розтягуючих напруг.

A.V. Savenko, E.D. Nagornaya

**STUDY OF DEEP ROCK MASSIF SHIFTING AT HIGH COALFACE
ADVANCE SPEED**

Subsidence of terrestrial surface and deep rock massif shifting at high coalface advance speed are analyzed. It is established that deformation processes in a rock massif develop with acceleration. Change of acceleration sign during terrestrial surface subsidence indicates on alternation of compressive and tensile stresses.