

УДК 622.837

к.т.н. Ларченко В. Г.,
Шпакова А. О.

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, larchenko2020@rambler.ru)

ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ОСЕДАНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД ОТ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ

Работа посвящена определению зависимости скорости оседаний земной поверхности от влияющих факторов. Установлены линейная зависимость скорости оседаний горных пород от скорости подвигания очистного забоя, максимального оседания и степенная зависимость от глубины подработки.

Ключевые слова: скорость оседаний, подвигание очистного забоя, максимальное оседание, глубина подработки, зависимость.

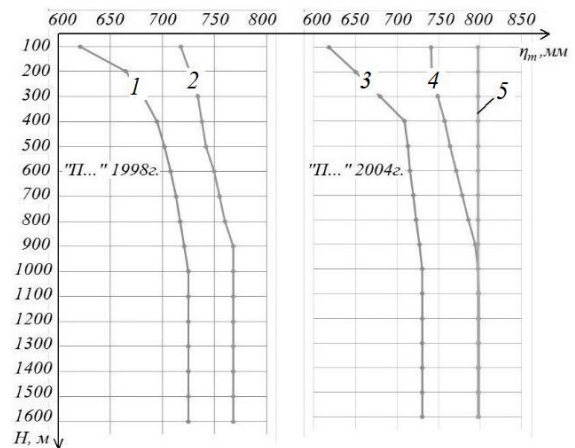
Для решения вопросов выбора мер охраны железных дорог МПС, коммуникаций линейного типа необходимо знать не только максимальные значения сдвижений и деформаций, но и суточную скорость оседаний и горизонтальных сдвижений земной поверхности, определить которые можно систематическими инструментальными наблюдениями по профильным линиям грунтовых реперов, заложенным вдоль и в перпендикулярном направлении к охраняемому объекту.

В существующих условиях ЛНР систематические натурные наблюдения не везде возможны и являются трудоемкими. Маркшейдерская служба шахт или проектные организации в этих случаях пользуются действующими отраслевыми нормативными «Правилами...» [1, 2], в которых методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций приведена только до глубины разработки 1000 м, но и она устарела, так как вычисленные по методикам [1, 2] максимальные оседания земной поверхности η_m (а от них зависят горизонтальные сдвижения и все виды деформаций) и приведенная зависимость η_m от глубины подработки H (рис. 1), противоречат теории сдвижения горных пород, что подтверждено исследованиями [3, 4].

Поэтому актуальным вопросом является установление зависимости скорости оседания земной поверхности от основных

влияющих факторов, так как очистные работы на ряде шахт ЛНР производятся на глубине 1200 м и более.

В связи с этим целью настоящей работы является определение зависимости максимальной скорости оседаний земной поверхности от глубины подработки H , максимального оседания горных пород η_m и изменений скорости подвигания очистного забоя C .



1, 3 — ломаные в районах залегания антрацита;
2, 4 — ломаные в районах залегания других марок угля при отношениях мощности четвертичных отложений h к глубине подработки H менее или равных 0,3; 5 — прямая в районах залегания других марок при отношениях ширины целика l к H , равных 0,4

Рисунок 1 Графики зависимости максимальных оседаний земной поверхности η_m от глубины очистных работ H , вычисленные по методикам [1, 2]

Объект исследования — процесс сдвижения подработанной толщи горных пород при добыче угля подземным способом.

Предмет исследования — зависимость скорости оседаний горных пород от основных влияющих факторов.

Задачи исследования:

– установить основные факторы, влияющие на максимальную скорость оседаний подработанного массива горных пород;

– определить влияние скорости подвигания очистного забоя на скорость оседаний земной поверхности;

– установить степень влияния глубины очистных работ на максимальную скорость оседания земной поверхности.

Исследования выполнялись методом комплексных частотных инструментальных наблюдений, включающим:

1) систематические наблюдения на 15 профильных линиях грунтовых реперов земной поверхности (табл. 1) [5–7] и их математическую обработку;

2) наблюдения за глубинными реперами, заложенными в пробуренные с земной поверхности вертикальные скважины (табл. 1) [7];

3) инструментальные наблюдения по реперам профильных линий в горных выработках шахты «Степная» ПО «Павлоградуголь»;

4) теоретические исследования методом конечных элементов [8];

5) сбор результатов натурных наблюдений в Восточном Донбассе и их анализ;

6) определение пространственного положения очистных забоев и вынимаемой мощности пластов на каждую дату натурных наблюдений.

Таблица 1

Параметры, определяющие максимальные скорости оседаний горных пород

№ станции	№ репера	C_3 , м/сут.	V_0 , мм/сут.	H , м	η_m , мм	k , 1/м ^{1/2}	k' , 1/м
1	2	3	4	5	6	7	8
Толщи карбона							
12	1	1,81	58,8	27	952	0,177	0,92
12	2	1,81	53,1	37	947	0,188	1,15
12	3	1,81	51,4	42	943	0,195	1,26
12	4	1,81	47,0	47	934	0,191	1,27
12	47п	1,81	29,2	104	830	0,198	2,02
13	1	2,1	51,7	26,4	853	0,148	0,76
13	2	2,1	51,2	32	851	0,162	0,92
13	3	2,1	50,2	37	848	0,171	1,04
13	4	2,1	49,2	43	842	0,182	1,20
13	5	2,1	44,8	48	833	0,177	1,23
13	6	2,1	44,3	53	831	0,185	1,34
13	35п	2,1	28,1	109	850	0,164	1,72
Среднее		0,178			1,24		
Земной поверхности							
7	46	2,08	11,8	194	590	0,133	1,86
8	41	1,56	11,5	183	646	0,154	2,09
9	42	1,24	8,2	242	680	0,151	2,35
10	28	1,8	22,5	154	920	0,169	2,09
11	34	1,89	12,9	140	550	0,147	1,74
11	86	2,33	14,9	159	495	0,163	2,05

Продолжение таблицы 1

№ станции	№ репера	C_3 , м/сут.	V_0 , мм/сут.	H , м	η_m , мм	k , 1/м ^{1/2}	k' , 1/м
1	2	3	4	5	6	7	8
Земной поверхности							
12	29	1,45	20,1	116	840	0,178	1,91
12	42	1,37	20,2	107	860	0,177	1,83
13	31	3,15	41,0	114	860	0,162	1,72
13	40	3,27	40,6	107	900	0,143	1,48
13	50	1,68	26,0	102	910	0,172	1,73
3	380	1,0	11,1	103	800	0,141	1,43
Среднее						0,157	1,86
Общее среднее						0,168	1,55

Исследованиями [3–8] установлено, что максимальная скорость оседаний земной поверхности V_0 в главных сечениях мульды сдвижения зависит от следующих факторов: вынимаемой мощности пластов m (максимального оседания η_0), глубины разработки H , скорости подвигания очистных забоев C_3 , размеров выработанного пространства по падению и простиранию пласта D_1 , D_2 , физико-механических свойств горных пород, угла падения пластов α , нарушенности массива горных пород первичной подработкой, наличия тектонических нарушений, способа управления кровлей. Ежедневные натурные инструментальные наблюдения в активной стадии процесса сдвижения позволяют получить суммарное значение максимальной скорости оседаний земной поверхности от всех перечисленных влияющих факторов.

Для дифференцированной оценки зависимости максимальной скорости оседаний земной поверхности η_0 от влияющих факторов сократим их количество, приняв постоянными наиболее часто встречающиеся горно-геологические (типовые) условия: полная подработка, когда отношение размеров выработанного пространства D_1 , D_2 к глубине подработки H более 1; управление кровлей — полное обрушение; отсутствие на исследуемом участке тектонических нарушений; постоянный угол падения пластов.

Натурными наблюдениями установлено [6], что максимальная скорость оседаний земной поверхности V_0 проявляется на коротком интервале времени (рис. 2, 3). Поэтому по результатам ежедневных наблюдений на комплексных станциях рекомендуем периодические наблюдения для определения максимальных скоростей оседаний земной поверхности производить с интервалом времени t_n в соответствии с эмпирической формулой (1) [7]:

$$t_n = \frac{l_{обр}}{C_3}, \text{ сут}, \quad (1)$$

где $l_{обр}$ — шаг обрушения основной кровли, м;

C_3 — скорость подвигания очистного забоя, м/сут.

Результаты инструментальных частотных наблюдений в горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса при глубинах подработки до 250 м приведены в таблице 1. Построенные по ним графики зависимости (рис. 2, 3) показывают, что даже незначительные по величине и кратковременные изменения скорости подвигания очистного забоя в горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса вызывают соответствующие пропорциональные изменения максимальных скоростей оседаний (рис. 2), так и скоро-

сти оседания каждой точки (репера) земной поверхности (рис. 3, а) и толщи горных пород (рис. 3, б) в главном сечении мульды на участках плоского дна в процессе сдвижения (рис. 3).

По фактическим результатам максимальной скорости оседаний V_0 , скорости подвигания очистного забоя C_3 , глубины подработки H , максимального оседания η_m (табл. 1) построен график зависимости V_0 от H (рис. 4), свидетельствующий, что при глубинах подработки H от 25 до 250 м зависимость максимальной скорости оседаний подработанного массива пород от глубины разработки является гиперболической (рис. 4), а ранее V_0 определяли из уравнения (2):

$$V_0 = k' \cdot \frac{m \cdot C_3}{H}, \text{ мм/сут}, \quad (2)$$

где k' — коэффициент, зависящий от литологии подработанного массива и прочности горных пород.

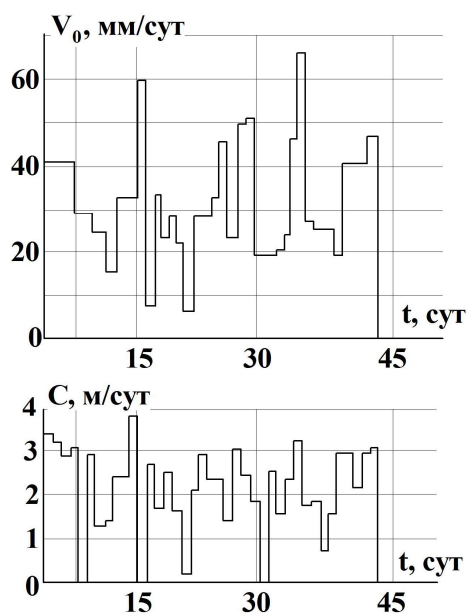
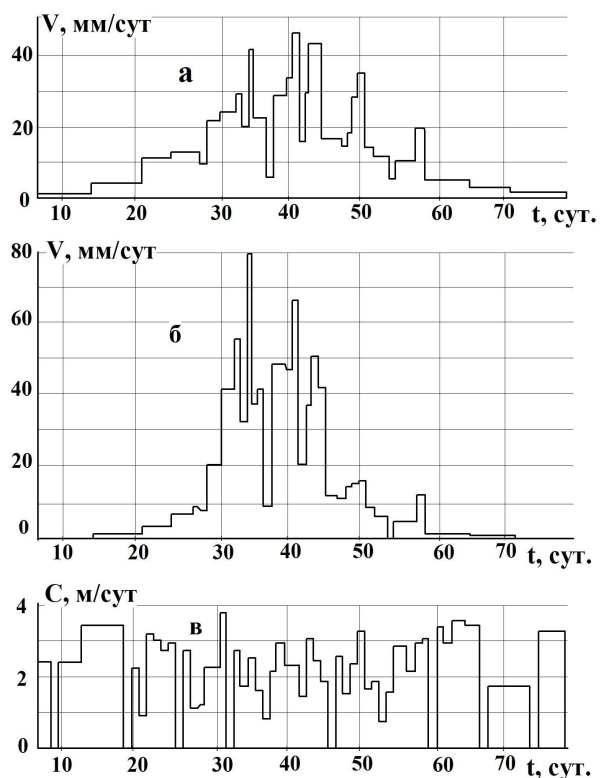


Рисунок 2 Гистограммы зависимости максимальных скоростей оседаний земной поверхности по станции № 13 от изменений скорости подвигания очистного забоя (лава № 604) шахты «Степная» ПО «Павлоградуголь»



а — скорости оседаний земной поверхности; б — скорости оседаний нижнего глубинного репера; в — скорости подвигания очистного забоя

Рисунок 3 Гистограммы зависимости максимальных скоростей оседаний земной поверхности по наблюдательной станции № 13 шахты «Степная» от изменений скорости подвигания очистного забоя

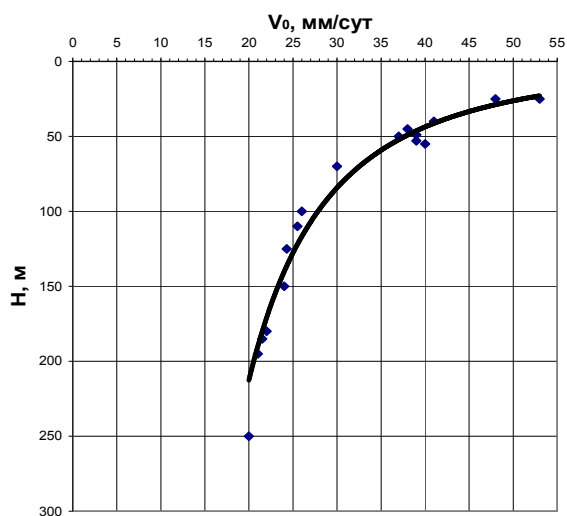


Рисунок 4. График зависимости максимальной скорости оседаний горных пород от глубины разработки (табл. 1) [6, 7]

В применяемой ранее формуле (2) расчета максимальной скорости оседаний земной поверхности V_0 при подработке на глубинах H до 250 м использована вынимаемая мощность пласта m , не зависящая от глубины подработки H . Но с увеличением глубины очистных работ в формуле (2) с целью повышения точности определения V_0 целесообразно использовать вместо m максимальные оседания земной поверхности η_m (табл. 1) [3, 4], позволяющие учитывать вынимаемую мощность пласта, степень подработки (отношение D/H), метаморфизм массива пород (марку угля) и степенную зависимость V_0 от глубины горных работ H в соответствии с результатами натурных наблюдений (табл. 1, рис. 4). То есть расчет максимальных скоростей оседаний V_0 рекомендуем выполнять по формуле (3):

$$V_0 = k \cdot \frac{\eta_m \cdot C_3}{\sqrt{H}}, \text{ мм/сут.} \quad (3)$$

Прочность толщи пород и глубина горных работ в восточных районах Донбасса не менее чем в два раза больше, чем в Западном Донбассе, поэтому и коэффициент k в формуле (3) будет минимум в два раза меньше в сравнении с аналогичными условиями шахт Западного Донбасса.

Средняя квадратическая погрешность коэффициента k , вычисленного из формулы (3), составила $m_k = \pm 0,018$, а вычисленная из формулы (2) — $m_k = \pm 0,438$.

Относительные средние квадратические погрешности составили при степенной зависимости V_0 от H $M_{отн\Delta k} = 10,7\%$, а при линейной зависимости — $M_{отн\Delta k'} = 28\%$, что подтверждает степенную зависимость максимальной скорости оседаний горных

пород V_0 от глубины очистных работ H (рис. 4, табл. 1).

По ограниченному количеству натуральных наблюдений в Восточном Донбассе было установлено, что $k = 0,08 \text{ 1/м}^{1/2}$. Достоверно определить коэффициент k в горно-геологических условиях шахт ГУП ЛНР «РТК „Восток уголь“» можно только систематическими инструментальными наблюдениями или установить автоматизированную наблюдательную станцию [9].

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Установлена зависимость максимальной скорости оседаний земной поверхности от максимального оседания, глубины подработки и изменений скорости подвигания очистного забоя, что позволит повысить эффективность выбора мер охраны железных дорог и коммуникаций линейного типа.

2. Предложен оптимальный интервал между инструментальными наблюдениями t_n (формула (1)) для повышения точности определения максимальной скорости оседаний горных пород.

3. Рекомендована формула (3) для прогноза максимальной скорости оседаний горных пород, что повысит качество выбора принятых мер охраны подрабатываемых железных дорог.

4. Достоверно определить значения постоянного коэффициента k можно только натурными инструментальными наблюдениями или автоматизированной станцией [9].

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики прогноза общей продолжительности и стадий процесса сдвижения горных пород при добыче угля подземным способом, проведение натуральных инструментальных наблюдений.

Библиографический список

1. ГСТУ 101.00159226.001–2003. *Отраслевой стандарт Украины. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом [Текст]. — Введ. 2004–01–01. — К. : УкрНИМИ НАН Украины, 2004. — 128 с.*

2. ПБ 07–269–98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Текст] : утв. Госгортехнадзором Рос. Федерации 16.03.1998. — Введ. 1998–10–01. — СПб. : Межотраслевой науч. центр ВНИИМИ, 1998. — 291 с.

3. Ларченко, В. Г. Зависимость сдвижений и деформаций земной поверхности от глубины подработки [Текст] / В. Г. Ларченко, Е. В. Коваленко, Ю. А. Маталкина // Труды РАНИМИ : сб. науч. тр. — Донецк, 2019. — № 8 (23). — С. 125–134.

4. Ларченко, В. Г. Совершенствование методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности при добыче угля [Текст] / В. Г. Ларченко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2019. — Вып. 15 (58). — С. 20–26.

5. Ларченко, В. Г. Результаты исследований параметров процесса сдвижений и деформаций горных пород при отработке свиты пологих пластов [Текст] / В. Г. Ларченко // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2008. — Вып. 27. — С. 88–98.

6. Ларченко, В. Г. Практические результаты исследований деформаций земной поверхности при отработке свиты пологих угольных пластов [Текст] / В. Г. Ларченко // Форум гірників — 2009 : матеріали Міжнародної конф. — Днепропетровск : НГУ, 2009. — С. 222–230.

7. Ларченко, В. Г. Процесс сдвижений и деформаций подработанного массива горных [Текст] / В. Г. Ларченко // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях : материалы 7-го международного симпозиума. — Белгород : ВИОГЕМ, 2003. — С. 238–244.

8. Ларченко, В. Г. Определения зависимостей параметров сдвижений и деформаций подработанной толщи пород от определяющих факторов методом конечных элементов [Текст] / В. Г. Ларченко, О. А. Черных // Вестник МАНЭБ. — СПб., 2006. — № 22. — С. 16–24.

9. Ларченко, В. Г. Автоматизированная наблюдательная станция для мониторинга сдвижений и деформаций горных пород [Текст] / В. Г. Ларченко, О. М. Куценко, Ю. А. Маталкина // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2007. — Вып. 1 (24). — С. 81–87.

© Ларченко В. Г.

© Шпакова А. О.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТИ Леоновым А. А.,
нач. отд. геологии и недропользования Минтопэнерго ЛНР Тихомировой Е. В.*

Статья поступила в редакцию 06.12.2021.

PhD in Engineering Larchenko V. G., Shpakova A. O. (DonSTI, Alchevsk, LPR,
larchenko2020@rambler.ru)

DEPENDENCE OF THE ROCK SUBSIDENCE RATE ON THE INFLUENCING FACTORS

The work is devoted to determining the dependence of rate of the Earth's surface subsidence on influencing factors. There have been determined the linear dependence of the rock subsidence rate on the rate of working face advancing, the maximum subsidence and a power dependence on the depth of undermining.

Key words: *subsidence rate, working face advancing, maximum subsidence, depth of undermining, dependence.*