

УДК 622.837

к.т.н. Ларченко В. Г.,
Коваленко Е. В.,
Маталкина Ю. А.

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

ПРОГНОЗ ВЕРОЯТНЫХ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЕЁ ПОДРАБОТКЕ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Приведена усовершенствованная методика прогноза вероятных оседаний земной поверхности введением в расчетную формулу дополнительных определяющих факторов: глубины очистных работ, относительной величины вероятных оседаний и коэффициента остаточных межслоевых расслоений, позволивших повысить точность прогноза оседаний земной поверхности. Среднее отклонение вероятных оседаний от фактических при полной подработке по абсолютной величине составило $\pm 5\%$, что позволяет повысить точность расчета вероятных деформаций земной поверхности и выбора мер охраны проектируемых или строящихся сооружений и коммуникаций на угленосных территориях при отсутствии плана развития очистных работ, особенно на глубинах более 500 м.

Ключевые слова: вероятные оседания земной поверхности, глубина разработки, мощность пласта.

Развитие промышленности ЛНР зависит от топливноэнергетической базы, основой которой является каменный уголь, а это единственный энергоноситель, которым в достаточном количестве владеет ЛНР. Но до 30 % балансовых запасов угля залегают под застроенными территориями, коммуникациями и природными объектами.

Создание экологических и безопасных условий разработки запасов угля подземным способом обеспечивается проектными мерами охраны подрабатываемых сооружений земной поверхности, выбор которых зависит от достоверных ожидаемых или вероятных параметров процесса сдвига горных пород. Ожидаемые параметры сдвижений и деформаций земной поверхности под сооружениями и коммуникациями определяют инструментальными предварительными наблюдениями в аналогичных горно-геологических условиях или по действующим нормативным «Правилам охраны сооружений...» [1, 2] при наличии календарного плана развития горных работ. Но часто возникает необходимость выбора горных или конструктивных мер охраны под строящиеся или про-

ектируемые здания, сооружения на участках, под которыми еще нет плана развития очистных работ. В таких случаях при выборе мер охраны используют вероятные сдвиги и деформации земной поверхности, вычисленные по методикам «Правил охраны...» [1, 2].

В отраслевых действующих «Правилах...» [1] расчет вероятных оседаний рекомендовано определять по формуле

$$\eta = 0,9(m_1 + m_2 + \dots + m_n) \cdot \cos \alpha, \text{ м}, \quad (1)$$

где m_1, m_2, \dots, m_n — мощность пластов, планируемых к разработке, м;

n — число пластов;

α — угол залегания пластов.

Из формулы (1) видно, что вычисленные по методике «Правил...» [1] вероятные оседания земной поверхности η не зависят от глубины подработки H , прочности пород, что противоречит теории сдвига подработанного массива.

Оседания являются основным параметром при вычислении горизонтальных сдвижений и всех видов деформаций земной поверхности.

Поэтому вычисленные по «Правилам...» [1, 2] вероятные сдвигения и деформации земной поверхности не соответствуют фактическим, особенно при больших глубинах разработки, а принятые на их основе меры охраны подрабатываемых сооружений будут неэффективными.

Целью работы является совершенствование методики расчета вероятных оседаний земной поверхности для повышения эффективности принятых на их основе мер охраны подрабатываемых сооружений, обеспечения безопасных условий их эксплуатации.

Объект исследования — процесс сдвигения подработанного массива горных пород при добыче угля подземным способом.

Предмет исследования — зависимость вероятных оседаний земной поверхности от глубины подработки и степени метаморфизма массива горных пород.

Задачи исследований:

– определение зависимости вероятных оседаний земной поверхности от глубины разработки угольных пластов и прочности горных пород;

– совершенствование прогноза вероятных оседаний земной поверхности для расчета деформаций и выбора мер охраны сооружений при отсутствии плана развития очистных работ.

Исследования выполнялись математическим моделированием вероятных параметров процесса сдвигения подработан-

ного массива горных пород с учетом основных определяющих факторов и их сопоставлением с результатами натуральных инструментальных наблюдений.

Толщину горных пород приняли как слоистую среду, состоящую из слоев литологических пород различной прочности, мощности и форм проявления процесса сдвигения при подработке на глубинах в интервале 100–1600 м.

Основными факторами, определяющими вероятные параметры процесса сдвигения горных пород при подземном способе разработки угольных пластов, являются: вынимаемая мощность пласта, глубина очистных работ, степень метаморфизма подработанного массива пород (прочность горных пород), угол падения пласта, нарушенность толщи тектоническими нарушениями или первичной подработкой. Из перечисленных основных факторов, влияющих на вероятные сдвигения и деформации земной поверхности, в действующих нормативных «Правилах...» [1, 2] учтены только два (мощность пластов и угол их залегания), почему и степень прогноза (достоверность) вероятных оседаний земной поверхности низкая.

Поэтому накопленный большой опыт натуральных инструментальных наблюдений (299 серий) [3, 4], теоретических исследований [5], результаты математического моделирования позволяют рекомендовать для прогноза вероятных оседаний η_e земной поверхности аналитическое выражение (2)

$$\eta_e = q_e \left(m_1 - K_p H_1^2 + m_2 - K_p H_2^2 + \dots + m_n - K_p H_n^2 \right) \cdot \cos \alpha, \text{ м}, \quad (2)$$

где m_1, m_2, \dots, m_n — мощность пластов, м;
 α — средний угол падения пластов, градус;
 q_e — относительные величины вероятных оседаний земной поверхности, определяются по таблице 1;

H — глубина залегания пластов, м;

K_p — коэффициенты остаточных межслоевых расслоений (разуплотнений) подработанного массива горных пород, зависящие от литологии толщи пород, мощно-

сти, прочности и количества слоев пород, установленные натурными наблюдениями, теоретическими исследованиями и рекомендуемые на данном этапе исследования в соответствии с таблицей 1.

Коэффициенты остаточных расслоений планируется уточнять по мере накопления результатов натуральных инструментальных наблюдений, особенно на больших глубинах разработки угольных пластов.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Таблица 1

Относительные величины вероятных оседаний земной поверхности
и коэффициенты остаточных расслоений подработанного массива пород

При первичной подработке		При повторной подработке		Условия применения в районах залегания углей марок:	α 0–40°
$q_в$	$K_p, 1/м^2$	$q_в$	$K_p, 1/м^2$		
0,8	$3 \cdot 10^{-7}$	0,85	$2,5 \cdot 10^{-7}$	антрацитов	
0,85	$2,5 \cdot 10^{-7}$	0,9	$2 \cdot 10^{-7}$	Ж, К, ОС, Т и Д-Г при $h/H \leq 0,3$	
0,9	$2 \cdot 10^{-7}$	0,95	$1,5 \cdot 10^{-7}$	Д-Г при $h/H > 0,3$	

Для визуального подтверждения зависимости вероятных оседаний земной поверхности $\eta_в$ от глубины разработки H в интервале 100–1600 м одного пласта мощностью 1 м, различной степени метаморфизма толщи пород, трех марок угля с углом падения $\alpha = 10^\circ$ выполнен расчет $\eta_в$ по формуле (3) при первичной и повторной подработках (табл. 2):

$$\eta_в = q_в \left(m - K_p H^2 \right) \cdot \cos \alpha, \text{ м.} \quad (3)$$

По результатам $\eta_в$ построены графики зависимости вероятных оседаний земной поверхности от глубины подработки H , характеризующие степенную зависимость $\eta_в$ от H ,

косвенно учитывают прочность массива пород (марку угля) и его нарушенность первичной подработкой (рис. 1), что соответствует теории процесса сдвижения горных пород, геомеханике, близки к результатам натурных наблюдений (табл. 3).

Среднее арифметическое значение отклонений вычисленных по формуле вероятных оседаний земной поверхности от фактических, приведенных к условиям полной подработки $\eta_{фн}$, составило по абсолютной величине 5 %, а с учетом знаков — 0,43 % (табл. 3), что на этом этапе исследований вполне приемлемо.

Таблица 2

Вероятные оседания земной поверхности при глубинах подработки H
в районах залегания угля марок

$H, \text{ м}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
Первичная подработка																
Антрацит																
$\eta, \text{ мм}$	785	776	761	740	714	681	643	599	548	492	430	362	288	209	123	32
Другие марки угля при $h/H \leq 0,3$																
$\eta, \text{ мм}$	835	827	815	798	776	748	717	680	638	591	540	482	421	354	284	207
Д-Г при $h/H > 0,3$																
$\eta, \text{ мм}$	884	878	869	855	837	815	790	760	727	689	648	603	553	500	443	382
Повторная подработка																
Антрацит																
$\eta, \text{ мм}$	835	827	815	798	776	748	716	680	638	591	540	482	421	354	284	207
Другие марки угля при $h/H \leq 0,3$																
$\eta, \text{ мм}$	884	878	869	855	837	815	790	760	727	689	648	603	553	500	443	382
Д-Г при $h/H > 0,3$																
$\eta, \text{ мм}$	934	930	922	912	899	882	863	841	816	788	757	723	686	646	603	557

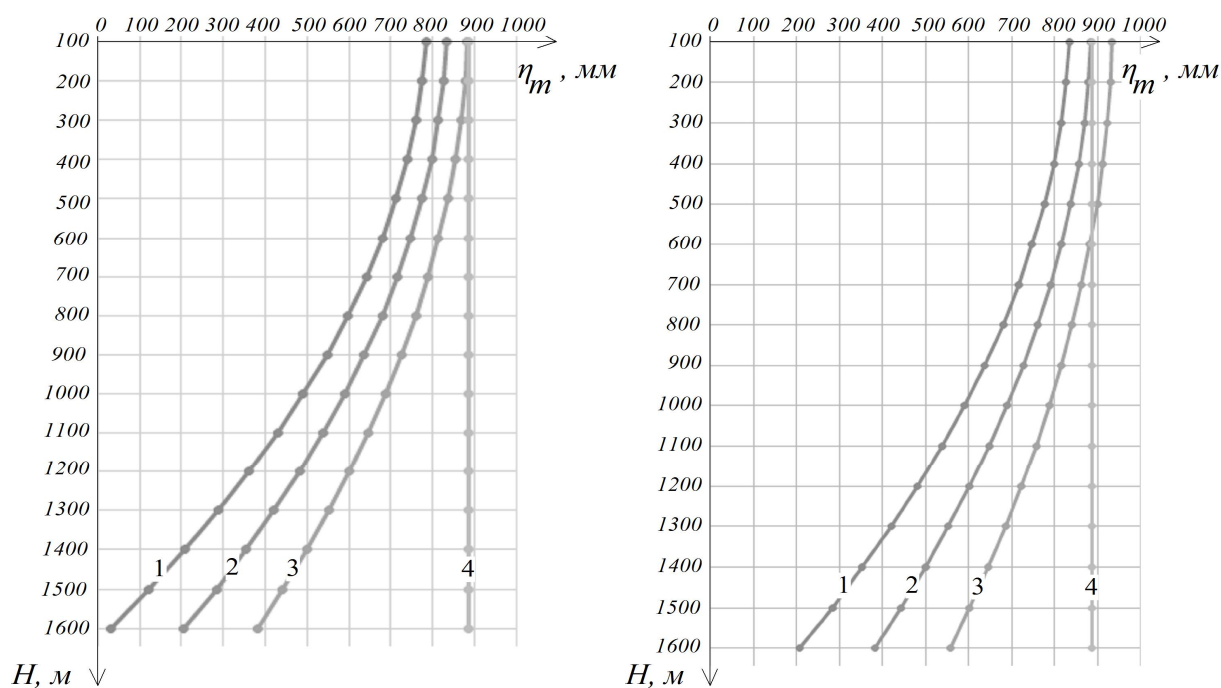
Примечание: h/H — отношение мощности четвертичных отложений к глубине горных работ.

Таблица 3

Сопоставление η_e , вычисленных по формуле (3),
с результатами натуральных наблюдений в Восточном Донбассе

№	Наблюдательная станция	Пласт	m , м	α , °	H , м	η_ϕ , мм при $D/H > 1$	$\eta_{вер}$, мм	$\Delta\eta/\eta_\phi$, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ш. «Западная», лавы 602, 604	k_2^H	0,95	7	488	672	698	+3,8
2	№ 26 ш. «Южная», лавы 1522, 1524	i_3^H	1,5	8	748	1121	1064	-5,1
3	№ 1 ш. «Южная», лавы 1522, 1524	i_3^H	1,5	8	724	628	635	+1,1
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	№ 8 ш. «Южная», лавы 1518, 1520	i_3^H	1,4	8	678	1132	1023	-9,6
5	№ 8 ш. им. Красина, лавы 1106, 1108	k_2^H	0,85	8	245	688	659	-4,2
6	№ 15 «Нежданная», лавы 1025, 1027	k_2^B	0,85	6	258	610	660	+8,2
7	№ 16 «Нежданная», лавы 1025, 1027	k_2^B	0,82	6	267	628	636	+1,27
8	ш. «Ворошиловская» ГП «Ровенькиантрацит», лава 352	i_3	1,0	4	500	695	738	+6,2
9	ш. им. Володарского ГП «Сведловантрацит», вост. лавы 60–66	k_2^B	1,12	16	830	744	702	-5,6

Примечание: $|\Delta\eta_{ср}| = 5,0\%$, $\Delta\eta_{ср. алгебр} = -0,43\%$.



1 — антрацит; 2 — другие марки угля при $h/H \leq 0,3$; 3 — другие марки угля при $h/H > 0,3$;
4 — по «Правилам...» [1]

Рисунок 1 Графики зависимостей вероятных оседаний земной поверхности
от глубины подработки H в районах залегания угля различных марок

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Установлена степенная зависимость вероятных оседаний земной поверхности от глубины подработки.

2. Относительными величинами оседаний q_s и коэффициентами разуплотнений слоистого массива K_p косвенно учтена степень метаморфизма подработанной толщи пород (марки угля) и уровень ее нарушенности первичной подработкой.

3. Повышена точность прогноза вероятных оседаний учетом трех влияющих фак-

торов в сравнении с действующими «Правилами...» [1, 2], что позволит повысить эффективность принятых на их основе мер охраны сооружений и коммуникаций земной поверхности при отсутствии плана развития горных работ.

Дальнейшие исследования будут направлены на уточнения коэффициентов расслоений подработанного массива K_p , повышение точности прогноза вероятных оседаний и деформаций земной поверхности, накопление результатов натуральных наблюдений, особенно при больших глубинах очистных работ.

Библиографический список

1. ГСТУ-101.00159226.001-2003. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом [Текст] : утв. Минтопэнерго Украины 28.11.2003 № 703. — Введ. 2004-04-01. — Донецк : Укр НИМИ 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 ВНИМИ, 1998. — 291 с.

3. Ларченко, В. Г. Зависимость горизонтальных деформаций земной поверхности от ширины выработанного пространства и размеров целиков [Текст] / В. Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ. — СПб., 2000. — № 2 (26). — С. 30-32.

4. 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.

5. Ларченко, В. Г. Моделирование напряжений и сдвижений подработанной толщи горных пород методом конечных элементов [Текст] / В. Г. Ларченко, О. А. Черных // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2006. — Вып. 21. — С. 22-29.

© Ларченко В. Г., Коваленко Е. В., Маталкина Ю. А.

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 28.09.2021.

PhD in Engineering Larchenko V. G., Kovalenko E. V., Matalkina Yu. A. (DonSTI, Alchevsk, LPR) PREDICTION OF PROBABLE SUBSIDENCE OF THE EARTH'S SURFACE DURING ITS UNDERMINING AT GREAT DEPTHS

An improved method for predicting probable subsidence of the Earth's surface is presented by introducing additional determining factors into the calculation formula: the depth of second working, the relative magnitude of probable subsidence and the coefficient of residual interlayer stratifications, which allowed to increase the accuracy of predicting the Earth's surface subsidence. The average deviation of probable subsidence from the actual one with full undermining in absolute value was $\pm 5\%$, which allowed to increase the accuracy of calculating the probable deformations of the Earth's surface and to select the protection measures for the designed or constructed structures and communications in coal-bearing areas without plan for the second working development, especially at depths of more than 500 m.

Key words: probable subsidence of the Earth's surface, digging depth, seam thickness.