

УДК 622.837

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

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

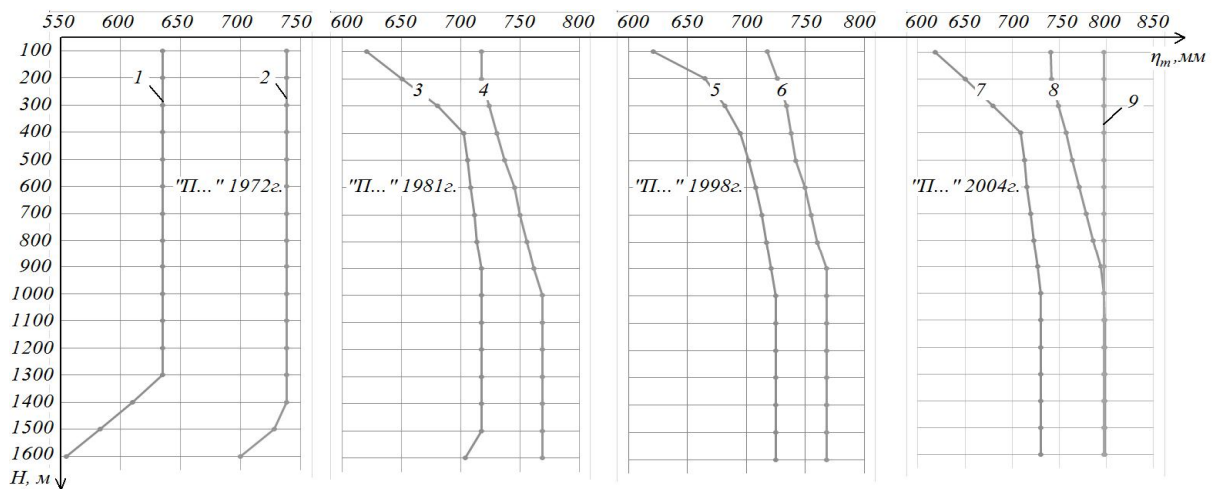
ОПЕРАТИВНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЖИДАЕМЫХ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Выполнен сравнительный анализ оседаний, вычисленных по действующим методикам нормативных «Правил...», по методике проекта «Правил охраны сооружений...» ЛНР и по результатам натурных наблюдений. Приведен оперативный способ расчета ожидаемых максимальных оседаний земной поверхности.

Ключевые слова: оседания, земная поверхность, способ, зависимость, глубина, разработка, уголь.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Более 30 % балансовых запасов угля Восточного Донбасса залегает под сооружениями, коммуникациями и природными объектами. Разработка угля в таких случаях возможна только после принятия мер охраны подрабатываемых объектов. Выбор мер охраны зависит от максимальных ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности, определить которые можно натурными наблюдениями, но они очень трудоемкие и в ЛНР не всегда возможны. Маркшейдерам шахт остается определять ожидаемые сдвижения

и деформации земной поверхности по методикам действующих нормативных документов «Правила подработки зданий...» [1] Украины или «Правила охраны сооружений...» [2] РФ. Но выполненные кафедрой МГ и Г ДонГТИ исследования [3–6] показывают (рис. 1), что как в действующих нормативных «Правилах...» [1, 2], так и в им предшествовавших «Правилах...» Министерства угольной промышленности СССР 1981 г. и 1972 г. не в полной мере учтено влияние глубины разработки H на максимальное оседание земной поверхности η_m (рис. 1).



1, 3, 5, 7 — ломаные в районах залегания антрацита; 2, 4, 6, 8 — ломаные в районах залегания других марок угля и $h/H \leq 0,3$; 9 — прямая в районах залегания других марок при $h/H = 0,4$

Рисунок 1 Графики зависимости η_m от H , вычисленные по методикам [1, 2], 1972 г., 1981 г.

Построенные по вычисленным η_m согласно методикам [1, 2], 1972 г., 1981 г. графики зависимости, при вынимаемой мощности пласта 1 м, угле наклона пласта $\alpha = 5^\circ$, длине столба по падению $D_1 = 2000$ м, полной подработке по простиранию ($D_2/H = 1,2$), свидетельствуют, что максимальные оседания земной поверхности η_m с увеличением глубины разработки H увеличиваются или не изменяются (рис. 1), а это противоречит теории сдвижения слоистой толщи пород и геомеханике.

Горизонтальные сдвиги и все виды деформаций земной поверхности зависят от максимальных оседаний, поэтому и влияние глубины очистных работ недостаточно учтено в нормативных «Правилах...» [1, 2], 1972 г., 1981 г при вычислении деформаций земной поверхности, особенно при больших глубинах подработки.

Добыча угля на ряде шахт ЛНР производится на глубинах 1000 м и более. Поэтому при ежегодном увеличении глубины очистных работ необходимым и актуальным стало совершенствование методик действующих нормативных «Правил...» [1, 2] для расчета ожидаемых максимальных оседаний земной поверхности.

Постановка задачи. Задачей данного этапа исследований является совершенствование методики расчета η_m , разработка оперативного способа определения ожидаемых максимальных оседаний земной поверхности при ее подработке на больших глубинах.

Изложение материала и его результаты. Для решения поставленной задачи нами выполнен анализ литературных источников, влияющих на η_m факторов (m , α , D_1 , D_2 , отношений мощности наносов h к H , степени метаморфизма «марки угля», прочности и мощности слоев пород), теоретические исследования, сбор результатов натурных наблюдений.

По выполненным исследованиям получены следующие результаты:

1. Установлено, что в «Правилах...» [1, 2] в формулах (1, 2) при вычислениях коэф-

фициентов степени подработанности земной поверхности вкост простирания N_1 и по простиранию N_2 поправки ΔD в подкоренных выражениях целесообразно не учитывать, так как: при $l/H = 0$ (целика нет) ΔD в зависимости от H изменяется от 0,14 до 0,04; при $l/H = 0,6$ и более ΔD колеблется в пределах от $-0,22$ до $-0,07$ (табл. А.2 [1]); при $l/H = 0,4$ (в угольных районах, кроме антрацита) $\Delta D = 0$ при H от 100 до 1000 и более метров, значит, вычисленные η_m при любых значениях H будут постоянными (рис. 1, прямая 9).

$$N_1 = \sqrt{0,9 \left(\frac{D_1}{H} + \Delta D_{II} + \Delta D_B \right)}, \quad (1)$$

$$N_2 = \sqrt{0,9 \left(\frac{D_2}{H} + \Delta D_{III} + \Delta D_{OIP} \right)}, \quad (2)$$

где ΔD_{II} , ΔD_B , ΔD_{III} , ΔD_{OIP} — поправки к относительной длине лавы за счет целика соответственно со стороны падения, восстания, простирания и обратной простиранию, определяемые с учетом отношения размеров целика l к H по таблице А.2 [1].

2. Натурными наблюдениями установлено [7], что над целиком шириной (0,2–0,4) l/H происходит суммирование горизонтальных деформаций растяжений от динамической полумульды и образовавшейся новой мульды и, аналогично, кривизны выпуклости, которые в 2 раза больше максимальных деформаций над разрезной печью и в 5 раз больше соответствующих деформаций над движущимся очистным забоем.

3. Расчет максимальных оседаний земной поверхности следует выполнять по скорректированной формуле

$$\eta_m = q_o \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 \cdot N_2 - K_P \cdot H^2, \quad m \geq 0, \quad (3)$$

где q_o — относительная величина максимального оседания, определяемая в соответствии с таблицей А.1 [1], безразмерная величина;

m — вынимаемая мощность пласта, м;

α — угол падения пласта, град;

N_1, N_2 — коэффициенты, характеризующие степень подработанности земной поверхности соответственно вкост простираия и по простираию, безразмерные величины, определяемые по формулам

$$N_1 = \sqrt{0,9 \frac{D_1}{H}}, \quad N_2 = \sqrt{0,9 \frac{D_2}{H}}, \quad (4)$$

где D_1, D_2 — размеры выработанного пространства соответственно по падению и по простираию пласта. Если N_1 и $N_2 > 1$, их следует принимать равными 1. В случае, когда N_1 и $N_2 < 0,20$, их следует принимать равными 0,20;

K_p — коэффициент остаточных межслоевых расслоений (разуплотнений) подработанного массива пород, зависящий от литологии толщи, мощности, прочности слоев горных пород, установленный натурными наблюдениями (табл. 1) [8, 9], теоретическими исследованиями [10] и рекомендуемый на данном этапе при первичной подработке в антрацитовых районах Донбасса $K_p = 3 \cdot 10^{-7} \text{ 1/м}^2$, в районах залегания углей марок Ж, К, ОС, Т и Д-Г при $h/H \leq 0,3$ $K_p = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ 1/м}^2$, в районах углей марок Д-Г при $h/H > 0,3$ $K_p = 2 \cdot 10^{-7} \text{ 1/м}^2$ и требующий

подтверждения результатами натуральных наблюдений при добыче угля на больших глубинах. При повторных подработках в антрацитовых районах рекомендуем $K_p^{\text{II}} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ 1/м}^2$, в остальных районах — $K_p^{\text{II}} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ 1/м}^2$.

4. По формуле (3) выполнен расчет максимальных оседаний земной поверхности η_m (табл. 2) в тех же горно-геологических условиях, что и по «Правилам...» [1, 2], 1972 г., 1981 г. (рис. 1).

5. По вычисленным значениям η_m построены графики зависимости η_m от $H, D_1 = 2000$ м (рис. 2–4), при различных D_2/H в пределах от 0,2 до 1,2, которые убедительно показывают степенную зависимость максимальных оседаний земной поверхности от глубины подработки, зависимость от степени подработанности (отношения D_2/H), в районах залегания антрацита (табл. 2, рис. 2), углей марок Ж, К, ОС, Т и Д-Г при $h/H \leq 0,3$ ($q_0 = 0,8$) (рис. 3) и в районах залегания углей марок Д-Г при $h/H > 0,3$, степени подработанности земной поверхности по простираию $\frac{D_2}{H}$ от 0,2 до 1,2, $D_1 = 2000$ м (рис. 4).

Таблица 1

Сопоставление вычисленных по формуле (3) η_p и фактических η_f оседаний земной поверхности

	Наблюдательные станции	Пласт	$m, \text{ м}$	α°	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$\eta_f, \text{ м}$	$\eta_p, \text{ м}$	$\Delta\eta, \%$
1	ш. Западная л. 602 и 604	K_2^H	0,95	7	402	725	488	0,457	0,457	0,0
2	№ 1 ш. Южная л. 1522 и 1524	i_3^H	1,5	8	420	850	724	0,628	0,647	3,0
3	№ 8 ш. Южная л. 1518 и 1520	i_3^H	1,4	8	430	900	678	0,600	0,646	7,7
4	№ 26 ш. Южная л. 1522 и 1524	i_3^H	1,5	8	430	850	748	0,751	0,675	–10,1
5	№ 15 ш. Нежданная л. 1025 и 1027	K_2^1	0,85	6	340	760	258	0,610	0,614	0,6
6	№ 16 ш. Нежданная л. 1025 и 1028	K_2^1	0,82	6	340	760	267	0,628	0,591	–5,9
7	№ 8 ш. Красина л. 1106 и 1108	K_2^H	0,85	8	380	900	245	0,688	0,658	–4,4

Таблица 2
Зависимость η_m от H и от D_2/H
при $q_0=0,75$, $m=1$ м, $\alpha=5^\circ$

H , м	η_m , мм					
	D_2/H					
	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2
100	314	446	546	631	706	745
200	305	437	537	622	697	736
300	290	422	522	607	682	721
400	269	401	501	586	661	700
500	242	374	474	559	634	673
600	209	341	441	526	601	640
700	170	302	402	487	562	601
800	125	257	357	442	517	556
900	74	206	306	391	466	505
1000	17	149	249	334	409	448
1100	0	86	186	271	346	385
1200		17	117	202	277	316
1300		0	42	127	202	241
1400			0	46	121	160
1500				0	34	73
1600					0	0

Графики зависимости η от H (рис. 2–4) между собой отличаются на всех глубинах разностью $\Delta\eta$, вызванной различием в степени метаморфизма (прочности) подработанного массива пород (коэффициентами q_0 , K_p в формуле (3)).

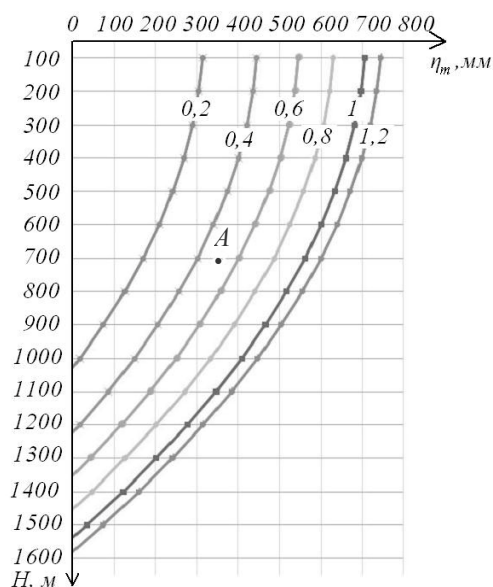


Рисунок 2 Графики зависимости η_m от H и от D_2/H при $q_0=0,75$, $K_p=3 \cdot 10^{-7}$ 1/м²

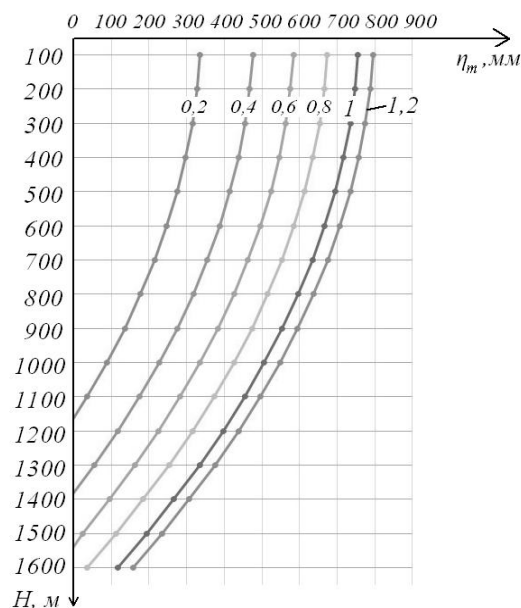


Рисунок 3 Графики зависимости η_m от H и от D_2/H при $q_0=0,8$, $K_p=2,5 \cdot 10^{-7}$ 1/м²

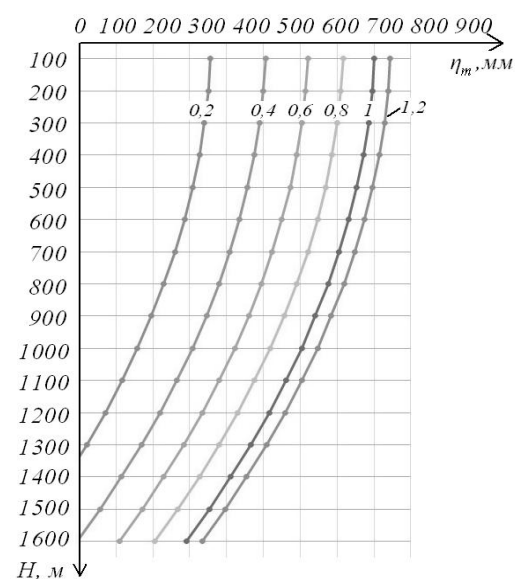


Рисунок 4 Графики зависимости η_m от H и от D_2/H при $q_0=0,85$, $K_p=2 \cdot 10^{-7}$ 1/м²

6. Сопоставление вычисленных по аналитическому выражению (3) максимальных оседаний земной поверхности $\eta_{выч}$ с фактическими η_f , установленными натурными наблюдениями в Восточном Донбассе (табл. 1) [9], показывает, что максимальное расхождение $\Delta\eta$ составило 10,1%, а среднее алгебраическое отклонение равно

$\Delta\eta_{cp} = -1,3\%$, это вполне приемлемо на данном этапе исследований.

7. В совокупности графики зависимости η_m от основных влияющих факторов (рис. 2–4) позволили сформулировать экспресс метод определения η_m на угольных шахтах при выборе схемы подработки (отношения $\frac{D_2}{H}$) ответственных объектов

земной поверхности с минимальными оседаниями и деформациями в такой последовательности:

– в зависимости от марки добываемого угля выбираем один из графиков зависимости из рисунков 2–4 (в примере — район антрацита (рис. 2));

– в зависимости от фактической глубины разработки H (возьмем 700 м, рис. 2, $q_o = 0,75$) и степени подработанности $\frac{D_2}{H} = 0,5$ (точка А по горизонтали) в соответствии со шкалой η_m (с учетом масштаба) графически определяем η_m в точке А $\eta_m = 0,350$ м;

– для учета вынимаемой мощности m_e разрабатываемого конкретного пласта умножаем 0,35 на $\frac{m_e}{1}$ (на рисунках $m = 1$ м),

а для учета угла наклона пласта α полученный результат умножаем на отношение $\frac{\cos \alpha}{0,997}$, так как расчет η_m и рисунки 2–4

выполнены при $\alpha = 5^\circ$ ($\cos 5^\circ = 0,997$), и в итоге получим оперативно максимальное

оседание в заданной точке в конкретных горно-геологических условиях

$$\eta_A = 0,35 \cdot \frac{m_e}{1} \cdot \frac{\cos \alpha}{0,997}, \text{ м.} \quad (5)$$

Выводы и направления дальнейших исследований.

1. Скорректированная методика позволяет получать адекватные и сопоставимые с результатами натуральных наблюдений максимальные оседания земной поверхности при глубинах подработки до 1600 м (табл. 1, 2).

2. Построенные графики зависимости η_m от H (рис. 2–4) позволяют оперативно в конкретных горно-геологических условиях экспресс-методом определять ожидаемые максимальные оседания земной поверхности с достаточной точностью, что необходимо знать при выборе мер охраны подрабатываемых сооружений и планировании очистных работ под ними с минимальными оседаниями.

3. Изложенная методика расчета η_m использована в проекте «Правил охраны сооружений...» ЛНР, которые проходят согласования в организациях ЛНР. Коэффициенты K_p требуют подтверждения результатами натуральных наблюдений при добыче угля на глубинах более 600 м.

Дальнейшие исследования авторов будут направлены на подготовку экспресс-метода определения наклонов и горизонтальных деформаций земной поверхности и производство натуральных наблюдений при их финансировании.

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. : УкрНИИМИ НАН Украины, 2004. — 128 с.

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

3. Ларченко, В. Г. *Исследование влияния глубины подработки на параметры процесса сдвижения земной поверхности [Текст] / В. Г. Ларченко, Ю. А. Маталкина // Сборник научных трудов ДонГТУ.* — 2017. — Вып. 7 (50). — С. 53–57.

4. Ларченко, В. Г. Максимальные оседания и деформации земной поверхности при подработке на больших глубинах [Текст] / В. Г. Ларченко, Е. В. Коваленко, Ю. А. Маталкина // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2018. — Вып. 11 (54). — С. 33–40.

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

6. Ларченко, В. Г. Зависимость сдвижений деформаций земной поверхности от глубины подработки [Текст] / В. Г. Ларченко, Е. В. Коваленко, Ю. А. Маталкина // Горная геология, геомеханика и маркшейдерия : сборник научных трудов VI международной научно-технической конференции. — Донецк : РАНМИ МО и Н ДНР, 2019. — № 8 (23). — Часть I. — С. 129–134.

7. 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.

8. 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.

9. Посыльный, Ю. В. Максимальные оседания земной поверхности в антрацитовых районах Донбасса [Текст] / Ю. В. Посыльный, А. А. Джулай, Е. А. Тетерин // Перспективы развития Восточного Донбасса : сб. науч. трудов ШИЮРГТУ (НПИ). — Новочеркасск : Набла, 2007. — Часть 2. — С. 282–294.

10. 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.

© Ларченко В. Г.

© Маталкина Ю. А.

© Коваленко Е. В.

**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 11.03.2021.

**PhD in Engineering Larchenko V. G., Matalkina Yu. A., Kovalenko E. V. (DonSTI, Alchevsk, LPR,
larchenko2020@rambler.ru)**

OPERATIONAL METHOD OF DETERMINING THE EXPECTED EARTH'S CRUST SUBSIDENCE DURING COAL MINING AT LARGE DEPTHS

Comparative analysis of subsidence calculated according to the current methods of normative "Rules...", according to the method of project "Rules for the protection of structures..." of the LPR and based on the results of field observations. The operational method of calculation the expected maximum subsidence of the earth's crust is given.

Key words: *subsidence, earth's crust, method, dependence, depth, development, coal.*