

*Ларченко В. Г., Коваленко Е. В., \*Маталкина Ю. А.  
Донбасский государственный технический университет  
\*E-mail: kristel08@yandex.ru*

## КОРРЕКТИРОВКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ОЖИДАЕМЫХ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОДРАБОТКЕ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

*Обоснована необходимость корректировки методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности действующих нормативных «Правил...» [1, 2]. Скорректирована методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности, угловых параметров, длин полумульд.*

*Ключевые слова:* ожидаемые максимальные сдвижения, деформации, земная поверхность, слоистая толща горных пород, глубина подработки, угловые параметры процесса сдвижения, размеры полумульд, значения функций типовых кривых  $S(z)$ ,  $S(z')$ ,  $S(z'')$ .

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Развитие промышленности Донбасса зависит от эффективности топливно-энергетического комплекса, основой которого является уголь — единственный энергоноситель и сырье для коксохимической отрасли, которым владеет ЛНР. Но до 30 % оставшихся балансовых запасов угля находятся под застроенными территориями и коммуникациями, безопасная разработка которых возможна при соблюдении мер защиты подрабатываемых сооружений. Выбор мер охраны зависит от максимальных деформаций земной поверхности, которые определяют трудоемкими инструментальными натурными наблюдениями или по действующим нормативным «Правилам ...» [1, 2], в которых использованы натурные инструментальные наблюдения, в основном при глубинах разработки до 600 м. В настоящее же время на отдельных шахтах добывают уголь на глубинах 1200 м и более.

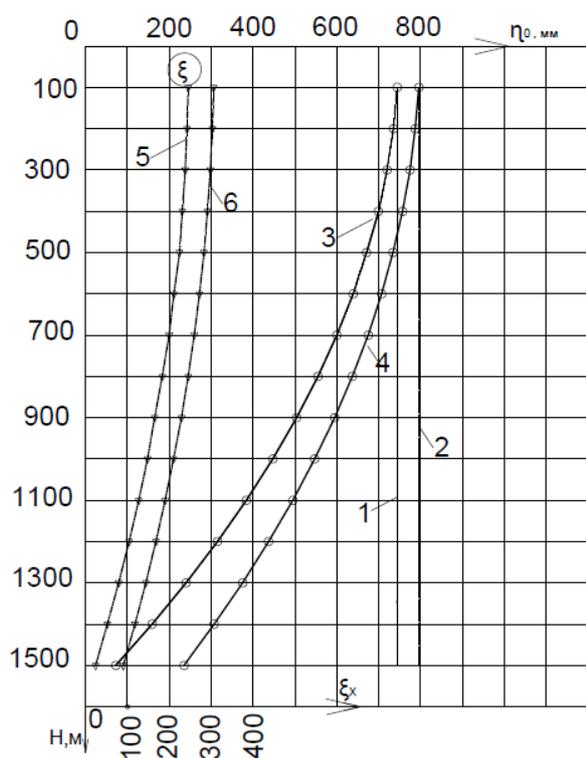
Выполненные авторами статьи теоретические исследования, натурные инструментальные наблюдения, физическое, математическое моделирование [3–6], детальный анализ методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности действующих «Правил...» [1, 2], полученные по ним зависимости максимальных осе-

даний  $\eta_0$  (рис. 1, прямые 1, 2), горизонтальных сдвижений  $\xi_0$  от глубины разработки  $H$  при полной подработке ( $N_1 = 1$ ,  $N_2 = 1$ ), где  $\eta_0$  не зависят от  $H$ , что противоречит теории сдвижения слоистой толщи пород различной мощности и прочности, горной геомеханике, редким натурным наблюдениям и указывает на необходимость корректировки методики расчета максимальных ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности «Правил...» [1, 2].

**Целью работы** является совершенствование методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности для повышения точности выбора эффективных, оптимальных мер охраны подрабатываемых на больших глубинах сооружений и коммуникаций.

**Объект исследований** — процесс сдвижений и деформаций подработанной слоистой толщи горных пород при добыче угля подземным способом на глубинах более 600 м.

**Предмет исследований** — обоснование необходимости корректировки методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в действующих «Правилах...» [1, 2] при подработке на больших глубинах; усовершенствование методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности при добыче угля на глубинах более 600 м.



1 — зависимость  $\eta_0$  от  $H$  — в районах залегания антрацитов; 2 — углей марок Ж–Т при  $h < 10$  м по методике [2]; 3 —  $\eta_0$  от  $H$  в районах добычи антрацитов; 4 —  $\eta_0$  от  $H$  углей марок Ж–Т по методике ДонГТУ; 5 — зависимость  $\xi_0$  от  $H$  в районах добычи антрацита; 6 —  $\xi_0$  от  $H$  — углей марок Ж–Т по методике ДонГТУ

Рисунок 1 — Зависимость максимальных ожидаемых оседаний  $\eta_0$ , горизонтальных сдвижений земной поверхности  $\xi_0$  от глубины  $H$  при полной подработке ( $N_1 = 1, N_2 = 1$ )

**Изложение материала.** Корректировка методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности вызвана тем, что в действующих «Правилах» на участках плоского дна мульды ( $N_1$  и  $N_2 = 1$ ) не учтено: влияние глубины подработки слоистого массива горных пород на  $\eta_0$  (рис. 1, прямые 1, 2); образования в процессе сдвижения полостей расслоений на контактах слоев различной прочности и мощности, что подтверждено комплексными натурными наблюдениями за сдвижением глубинных реперов якорного типа, установленных в пробуренные с земной поверхности вертикальные скважины в

главных сечениях мульды на участках плоского дна [7]. Поэтому в формуле вычисления максимальных ожидаемых оседаний земной поверхности по методике «Правил...» [1, 2] на основании натуральных инструментальных наблюдений [7, 8], физического и математического моделирования [3] считаем целесообразным дополнительно коэффициентом расслоения  $K_p$ , умноженным на  $H^2$ , учесть уменьшение оседаний за счет остаточного расслоения слоистой толщи горных пород различной мощности и прочности. Расчет ожидаемых максимальных оседаний земной поверхности  $\eta_0$  рекомендуем выполнять по формуле (1):

$$\eta_0 = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 \cdot N_2 - K_p \cdot H^2, \text{ м}, \quad (1)$$

где  $q_0$  — относительная величина максимального оседания земной поверхности [2, табл. А.1] (не учитывает глубину подработки  $H$ ) (табл. 1);

$m$  — вынимаемая мощность пласта, м;

$\alpha$  — угол наклона пласта, градус;

$N_1, N_2$  — коэффициенты, характеризующие степень подработки земной поверхности по падению и по простиранию пласта, безразмерные величины, определяемые по формуле (2):

$$N_1 = \sqrt{0,9 \frac{D_1}{H}}; N_2 = \sqrt{0,9 \frac{D_2}{H}}, \quad (2)$$

где  $D_1, D_2$  — размеры очистной выработки соответственно по падению и простиранию пласта, м;

$K_p$  — коэффициент остаточных межслоевых расслоений подработанного массива, зависящий от литологии толщи, прочности и мощности слоев пород, установленный по результатам теоретических исследований, натуральных наблюдений в восточных районах Донбасса [8], математического моделирования [3] и рекомендуемый на данном этапе исследований при первичной подработке в соответствии с таблицей 1.

Если значения  $N_1$  или  $N_2$  при вычислениях по формуле (2) больше 1,0, то их следует принимать равными 1,0. В случае, ко-

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**

гда  $N_1$  и  $N_2$  при вычислениях получились менее 0,20, их принимают равными 0,20.

Коэффициенты  $q_0$  и  $K_p$  требуют подтверждения по мере накопления результатов равноточных инструментальных натуральных наблюдений за сдвижением и деформациями земной поверхности при подработке на глубинах более 600 м.

В горно-геологических условиях, аналогичных вычисленным значениям максимальных оседаний земной поверхности  $\eta_0$  по методике [2] (рис. 1, прямые 1, 2): полная подработка,  $N_1=1$ ,  $N_2=1$ ;  $m=1$  м;  $\alpha=5^\circ$ ;  $h$  — мощность четвертичных отложений, менее 10 м, вычислены ожидаемые максимальные оседания  $\eta_0$  при  $H$  от 100 до 1500 м и различной степени метаморфизма пород (марок угля) по рекомендуемой методике ДонГТУ (формула 1) (табл. 2). По значениям  $\eta_0$  построены графики зависимости  $\eta_0$  от глубины подработки  $H$  (рис. 1, кривые 3, 4), показывающие степенную зависимость  $\eta_0$  от  $H$ , где со снижением прочности пород (с марки угля А на Ж–Т) при всех глубинах разработки увеличивается максимальное оседание  $\eta_0$ , что соответствует теории сдвижения подработанной слоистой толщи горных пород и результатам натуральных наблюдений в Восточном Донбассе (табл. 3).

На глубине 600 м разность оседаний земной поверхности  $\Delta\eta$  по методикам [2] и ДонГТУ составила 100 мм, а при разработке антрацита на глубине 1300 м в тех же усло-

виях  $\Delta\eta$  равна 500 мм при мощности пласта 1 м, что оказывает существенное влияние на величины горизонтальных сдвижений, деформаций, наклонов и выбор мер охраны железных дорог МПС, трубопроводов, высотных сооружений и других объектов.

Ожидаемые максимальные наклоны  $i_0$ , горизонтальные сдвижения  $\xi_0$  и горизонтальные деформации  $\varepsilon_0$  в точках главных сечений мульды по простирацию пласта определяем по формулам (3–5):

$$i_{0x} = (\eta_0 / L_3) \cdot S'(z_x)_{\max}, 1 \cdot 10^{-3}; \quad (3)$$

$$\xi_{0x} = 0,5 \cdot \alpha_0 \cdot \eta_0 \cdot S'(z_x)_{\max}, \text{ мм}; \quad (4)$$

$$\varepsilon_{0x} = 0,5 \cdot \alpha_0 (\eta_0 / L_3) \cdot S''(z_x)_{\max}, 1 \cdot 10^{-3}; \quad (5)$$

где  $\alpha_0$  — относительная величина максимального горизонтального сдвижения (табл. 1);

$S'(z_x)_{\max}$  — максимальные значения функций типовой кривой наклонов, горизонтальных сдвижений, равные 2,2, и деформаций  $S(z)'' = 7,3$  для Донецкого бассейна [2, таблицы А.5, А.6];

$L_3$  — длина полумульды по простирацию пласта, равная

$$L_3 = H \cdot (\text{ctg} \delta_0 + \text{ctg} \psi_3), \text{ м}, \quad (6)$$

где  $\delta_0$  — граничный угол по простирацию пласта, градус (табл. 4);

$\psi_3$  — угол полных сдвижений, градус (табл. 4).

Таблица 1

Относительные величины максимальных оседаний  $q_0$ , максимальных горизонтальных сдвижений  $\alpha_0$ , коэффициентов остаточных расслоений  $K_p$  в Восточном Донбассе при первичной подработке  $H$

$q_0$	$\alpha_0$	$K_p, 1 \cdot 10^{-7}$	Условия применения
0,75	0,30	3,0	В районах залегания: – антрацитов
0,80	0,35	2,5	– углей марок Ж, К, ОС, Т и Д–Т при $h/H \leq 0,3$
0,85	0,40	2,0	– углей марок Д–Г при $h/H \leq 0,3$

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Таблица 2

Ожидаемые максимальные оседания  $\eta_0$ , наклоны  $i_0$ , горизонтальные сдвигения  $\zeta_0$  и деформации  $\varepsilon_0$ , длины полумульд  $L_3$  в главных сечениях по простираанию пласта по методике Дон ГТУ

$H, \text{ м}$	$\eta_0, \text{ мм}$		$L_3, \text{ м}$			$i_0, 1 \cdot 10^{-3}$		$\varepsilon_0, 1 \cdot 10^{-3}$		$\zeta_0, \text{ мм}$	
	А	Ж-Т	А	Ж-Т	А [2]	А	Ж-Т	А	Ж-Т	А	Ж-Т
100	744	794	91,7	102,5	96,8	17,85	17,04	8,88	9,90	246	306
200	735	787	183,4	205,0	193,6	8,82	8,44	4,39	4,90	242	303
300	720	775	275,1	307,5	290,4	5,76	5,54	2,87	3,22	238	298
400	699	757	366,8	410,0	387,2	4,19	4,06	2,09	2,36	231	291
500	672	735	458,5	512,5	484,0	3,22	3,16	1,60	1,83	222	283
600	639	707	550,2	615,0	580,8	2,56	2,53	1,27	1,47	211	272
700	600	675	597,1	670,6	677,6	2,21	2,21	1,10	1,29	198	260
800	555	637	632,0	714,4	744,4	1,93	1,96	0,96	1,14	183	245
900	504	595	655,2	746,1	871,2	1,69	1,75	0,84	1,02	165	229
1000	447	547	668,0	777,0	968,0	1,47	1,55	0,73	0,89	148	210
1100	384	495	669,9	776,6	1064,8	1,26	1,40	0,62	0,82	127	190
1200	315	437	634,8	775,2	1161,6	1,09	1,24	0,55	0,72	104	168
1300	240	375	614,9	764,4	1258,4	0,86	1,08	0,43	0,63	79	144
1400	159	307	582,4	740,6	1355,2	0,60	0,91	0,30	0,52	52	118
1500	72	235	541,5	709,5	1452,0	0,29	0,73	0,14	0,42	24	90

Таблица 3

Сопоставление вычисленных по методике Дон ГТУ (формула 1) ожидаемых оседаний земной поверхности  $\eta_{рас}$  с результатами натурных наблюдений в Восточном Донбассе  $\eta_{ф}$  [3]

Наблюдательная станция	Пласт	$m, \text{ м}$	$\alpha, \text{ град}$	$D_1, \text{ м}$	$D_2, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$\eta_{ф}, \text{ мм}$	$\eta_{рас}, \text{ мм}$	$\Delta\eta/\eta_{ф}, \%$
№ 1 ш. Южная, л. 1522, 1524	$i_3^H$	1,5	8	420	850	724	628	645	+2,7
№ 8 ш. Южная, л. 1518, 1520	$i_3^H$	1,4	8	430	900	678	660	652	-1,21
№ 26 ш. Южная, л. 1514, 1516	$i_3^H$	1,5	8	480	850	748	751	735	-2,11
№ 15 ш. Нежданная л. 1025, 1027	$k_2'$	0,85	6	340	760	258	610	614	+0,66
№ 16 ш. Нежданная л. 1026, 1028	$k_2'$	0,82	6	340	760	267	628	631	+0,48
№ 9 ш. Красина л. 1106, 1108	$k_2^H$	0,85	8	380	900	245	688	655	-4,8
ш. Ворошиловская ГП Р. А. л. 352	$i_3'$	1,0	4	510	860	500	695	673	-3,16
ш. им. Володарского ГП С. А. л. 60-64	$i_3$	1,27	16	880	850	830	744	750	+0,81
Среднее									-0,83

Вычисленные по методике ДонГТУ (формула 4) в приведенных выше горно-геологических условиях, максимальные горизонтальные сдвигения  $\zeta_0$  земной поверх-

ности (табл. 2; рис. 1, кривые 5, б) показывают зависимость  $\zeta_0$  от глубины подработки  $H$  и степени метаморфизма толщи пород (марок угля), что соответствует теории

сдвигения горных пород, а горизонтальные сдвигения  $\xi_0$  по методике [2] в тех же горно-геологических условиях в антрацитовых районах  $\xi_0 = 246$  мм, при разработке угля марок Ж–Т  $\xi_0 = 307$  мм, постоянные величины, не зависящие от  $H$ , что противоречит теории сдвигения подработанного слоистого массива горных пород.

Определяющие размеры полумульд в главном сечении по простиранию пласта граничные углы  $\delta_0$  и углы полных сдвижений  $\psi_3$  при полной подработке, приведенные в нормативных «Правилах...» [1, 2], прямой линией от разрабатываемого пласта и до земной поверхности «ограничивают» размеры мульд сдвигения в слоистой толще пород различной мощности и прочности слоев, что не соответствует натурным частотным комплексным наблюдениям [7], где граница начала процесса сдвигения в толще пород (изолиния оседания 10 мм) и окончания процесса сдвигения (изолиния оседаний 800 мм) [7] являются плавными кривыми, обращенными выпуклостями от очистного забоя. Границей мульды сдвигения в подработанной толще является ломаная с изломами на контактах слоев, а ее «сглаженное» положение в крепких породах является кривой, расположенной под большим углом наклона, чем в породах меньшей прочности. Кучин А. С. и Назаренко В. А. по результатам натурных наблюдений сделали аналогичный вывод, что с увеличением прочности пород и глубины разработки граничные углы увеличиваются [9], как это частично отражено и в «Правилах...» [2, табл. 5.1, 5.2].

С увеличением глубины разработки и прочности массива пород, согласно теории сдвигения горных пород, результатам натурных наблюдений [3, 7, 9] и частично «Правилам...» [1, 2], должны возрастать значения угловых параметров процесса сдвигения, что не в полной мере учтено в «Правилах...» [1, 2], где угловые параметры рекомендуются одинаковыми от разрабатываемого пласта и до четвертичных отложений или до земной поверхности независимо

от глубины подработки. Это «заключение» является вторым (после расчета максимальных оседаний  $\eta_0$  в условиях полной подработки) «слабым местом» методики расчета сдвижений и деформаций земной поверхности действующих «Правил...» [1, 2].

Поэтому после теоретических исследований, математического моделирования [3] и сопоставления с редкими результатами натуральных наблюдений [7–9] считаем необходимым скорректировать угловые параметры процесса сдвигения слоистой толщи горных пород при глубинах разработки более 600 м в соответствии с таблицей 4 дополнительным слагаемым ( $H_T \cdot K_y$ ), что обеспечивает зависимость угловых параметров от глубины очистных работ  $H$ , усиливает влияние прочности пород (степени метаморфизма массива пород, марок угля, первичная или повторная подработка).

С использованием скорректированных угловых параметров по формуле (6) вычислены длины полумульд по простиранию пласта  $L_3$  (табл. 2) при  $H$  от 100 до 1500 м. На глубине подработки 500 м разность длин полумульд  $\Delta L_3$  по методикам «Правил...» [1, 2] и рекомендуемой ДонГТУ составила 5,7 %, а при  $H = 1300$  м  $L_3$  согласно [1, 2] в антрацитовых районах  $L_3 = 1258$  м, что более чем в два раза больше, чем по методике ДонГТУ (табл. 2). От размеров  $L_3$  зависят максимальные значения наклонов  $i_0$  и горизонтальных деформаций  $\epsilon_0$ , которые служат основой выбора мер защиты разрабатываемых сооружений земной поверхности. Завышенные значения длин полумульд являются третьей причиной «устойчивости» более 50 лет методики расчета сдвижений и деформаций «Правил...» [1, 2] (в «Правилах охраны» СССР 1972 г. и 1981 г. методика расчета аналогичная, но тогда средняя глубина очистных работ была значительно меньше, чем в наши дни, и «погрешность»  $\Delta L$ , соответственно, меньше), так как в формулах [2, таблица А.3] необоснованно завышенные оседания  $\eta_0$  расположены в числителе, а завышенные длины полумульд  $L_3$  находятся в знамена-

**НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ**

теле формул (3, 5). В итоге зависимость максимальных наклонов  $i_0$  и горизонтальных деформаций  $\varepsilon_0$  земной поверхности, вычисленная по методике [1], оказалась «похожей» на зависимость аналогичных деформаций, вычисленных по методике ДонГТУ (рис. 2).

По рекомендуемой методике ДонГТУ определены длины полумульд  $L_3$  (формула 6), максимальные оседания  $\eta_0$  (формула 1), максимальные наклоны  $i_0$  (формула 3) и максимальные горизонтальные деформации  $\varepsilon_0$  (формула 5) (табл. 2), по их значениям построены графики зависимости  $i_0, \varepsilon_0$  от  $H$  (рис. 2, кривые 1, 3), отражающие зависимость максимальных деформаций земной поверхности от глубины подработки  $H$ . Для сопоставления методик вычислены максимальные наклоны  $i_0$  и горизонтальные деформации  $\varepsilon_0$  по методике [1] в тех же горно-геологических условиях, построены графики зависимости  $i_0, \varepsilon_0$  от  $H$  (рис. 2, кривые 2, 4), показывающие аналогичную зависимость  $i_0, \varepsilon_0$  от  $H$ .

Очевидно, что отсутствие зависимости максимальных оседаний  $\eta_0$  от  $H$  при пол-

ной подработке земной поверхности по методике [1] (рис. 1, прямые 1, 2) противоречит теории сдвижения горных пород (не учтено влияние на больших глубинах), а аналогичная зависимость  $i_0, \varepsilon_0$  от  $H$  (рис. 2) по методикам [1] и ДонГТУ подтверждают необходимость и справедливость корректировки угловых параметров (табл. 4) и, соответственно, длин полумульд (табл. 2).

Кроме того, угловые параметры процесса сдвижения необходимы для построения предохранительных целиков, внедрения мер защиты подрабатываемых сооружений на конкретных участках полумульд земной поверхности. Площадь построенного предохранительного целика для охраны двух вертикальных стволов на глубине 1200 м по методике ДонГТУ в четыре раза меньше, чем по «Правилам...» [2]. Значит после корректировки и внедрения методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности меньше будут потери угля в целиках, больше промышленные запасы и срок службы шахты, что будет способствовать снижению себестоимости угля.

Таблица 4

Угловые параметры для определения размеров полумульд сдвижения в главных сечениях

Марка угля	Граничные углы, градус				Угол максимального оседания $\theta$
	$\beta_0$	$\gamma_0$	$\delta_0$	$\varphi_0$	
Антрацит	$\frac{75 - 0,6\alpha + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{72 - 0,6\alpha + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	$\frac{75 + 0,2\alpha + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{72 + 0,2\alpha + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	$\frac{75 + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{72 + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	55	$\frac{90 - 0,3\alpha}{90 - 0,4\alpha}$
Остальные марки	$\frac{72 - 0,6\alpha + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{70 - 0,6\alpha + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	$\frac{73 + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{71 + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	$\frac{72 + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{70 + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	55	$\frac{90 - 0,25\alpha}{90 - 0,3\alpha}$
Углы полных сдвижений, градус					
	у нижней границы $\psi_1$	у верхней границы $\psi_2$	по простиранию пласта $\psi_3$		
Антрацит	$\frac{55 + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{53 + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	$\frac{57 + 0,3\alpha + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{55 + 0,3\alpha + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	$\frac{57 + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{55 + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$		
Остальные марки	$\frac{53 + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{50 + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	$\frac{55 + 0,3\alpha + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{53 + 0,3\alpha + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$	$\frac{55 + H_{\Gamma} \cdot K_{\Upsilon}}{53 + H_{\Gamma} \cdot K'_{\Upsilon}}$		

Примечания:  $H_{\Gamma} = H - 600$  м, вычислять при  $H$  более 600 м;  $K_{\Upsilon}, K'_{\Upsilon}$  — коэффициенты увеличения углов при  $H$  более 600 м. При первичной подработке  $K_{\Upsilon} = 0,015$ , при повторных подработках  $K'_{\Upsilon} = 0,01$ . В числителе приведены значения для неподработанной толщи, в знаменателе — для подработанной.

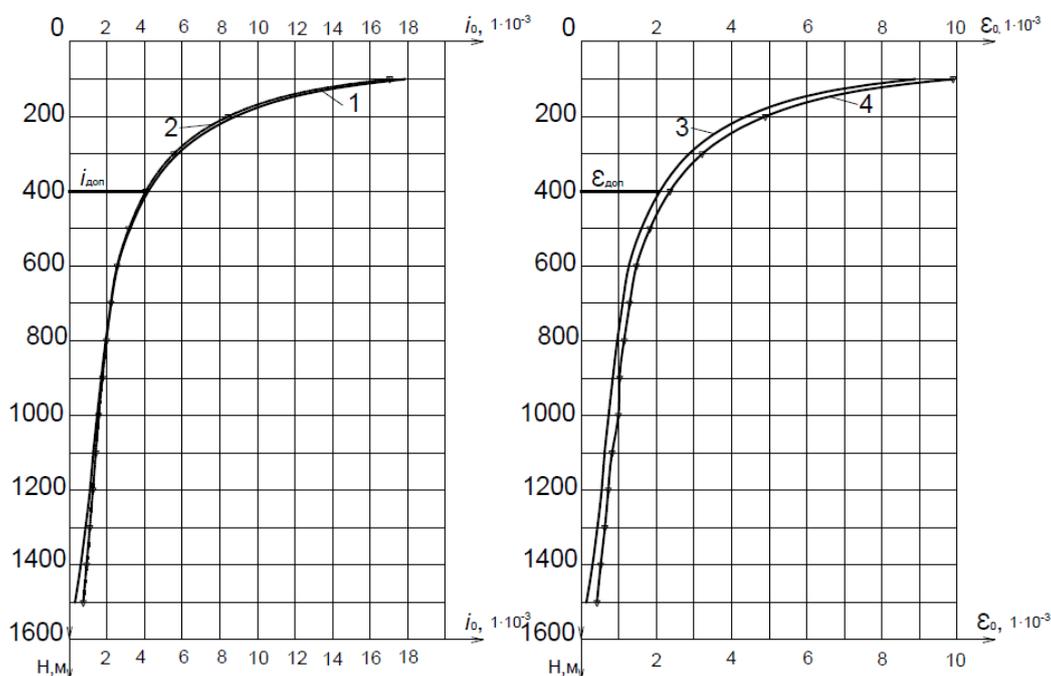


Рисунок 2 — График зависимости максимальных наклонов  $i_0$  и горизонтальных деформаций земной поверхности  $\epsilon_0$  от глубины полной подработки  $H$ :  
1 и 3 — по методике ДонГТУ; 2 и 4 — по методике [1]

Расчет ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в точках главных сечений полумульд выполняется по формулам (32–47) [1]. Оседания  $\eta_x$  в точках полумульды по простиранию пласта определяют по формуле (7):

$$\eta_x = \eta_m \cdot S(z_x), \quad (7)$$

где  $\eta_m$  — максимальное оседание земной поверхности, м;  $S(z)$  — значения функций типовой кривой оседаний, приведены в таблице 17 [1], в таблице А.4 [2] и в таблице 5 при  $N_1=1, N_2=1$  (полная подработка).

В принятых выше горно-геологических условиях ( $m=1$ , полная подработка, в антрацитовых районах) по методике [1] вычислены максимальные оседания ( $\eta_0=747$  мм, рис. 1, прямая 1) и по методике ДонГТУ ( $\eta_0=600$  мм, рис. 1, кривая 3) при глубине 700 м и оседания  $\eta_x$  в точках мульды сдвижения по простиранию пласта (табл. 5). По значениям  $\eta_x$  построены графики оседаний земной поверхности в точках главного сечения мульды по простиранию пласта (рис. 3). Граница мульды

сдвижения на земной поверхности определяется минимальными значениями оседаний  $\eta=10$  мм, наклонов  $i=0,5 \cdot 10^{-3}$  или горизонтальных деформаций  $\epsilon=0,5 \cdot 10^{-3}$ , на вертикальных разрезах граница мульды определяется граничными углами  $\delta_0, \beta_0, \gamma_0$  (рис. 3). То есть при  $z=0$  оседания минимальные (до 10 мм), значит,  $S(z)$  должно быть равно 0, а не 1,00, как приведено в нормативных «Правилах...» [1, табл. 17] и [2, табл. А.4]. Полумульда по методике ДонГТУ заканчивается в точке начала плоского дна при полной подработке  $z=1,0, S(z)=1,0$ , на вертикальных разрезах — определяется углами полных сдвижений  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  или в точке максимального оседания  $\eta_m$  при неполной подработке. На вертикальных разрезах окончание полумульд при неполной подработке определяется углом максимального оседания  $\theta$ . В таблицах «Правил...» [1, 2]  $z$  должно быть равным 1,0,  $S(z)=1$ , а не 0, как приведено в «Правилах...», что противоречит определениям параметров процесса сдвижения подработанного массива пород и логике.

Таблица 5

Значения функций  $S(z)$  при  $N_1 = 1, N_2 = 1$  оседаний в точках полумульды по простиранию пласта  $\eta_x$ , вычисленные по методикам [1] и ДонГТУ

Z	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$S(z)$	1,00	0,99	0,95	0,86	0,71	0,50	0,29	0,14	0,05	0,01	0
$\eta_x$ , мм [1]	747	740	710	642	530	374	217	105	37	7	0
$\eta_x$ , мм (ДонГТУ)	0	6	30	84	174	300	426	516	570	594	600

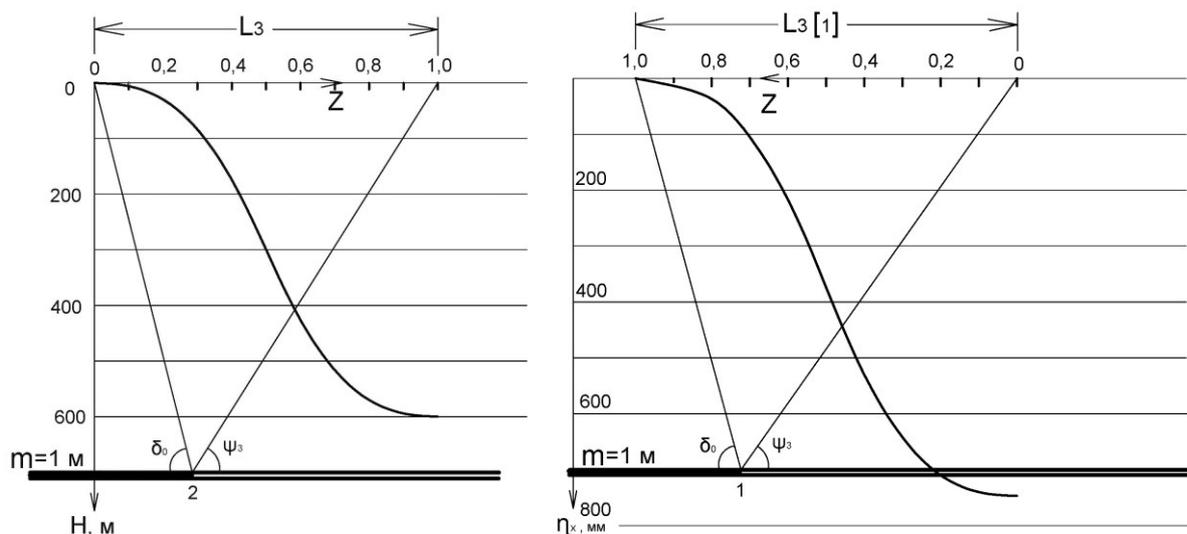


Рисунок 3 — Распределение оседаний  $\eta_x$  в точках главного сечения мульды сдвижения по простиранию пласта по методикам: 1 — «Правил...»; 2 — ДонГТУ

В первой части полумульды земной поверхности (рис. 3, над пластом) имеют место горизонтальные деформации растяжений (со знаком +), а в таблицах 17 [1] и А.6 [2]  $S''(z)$  приведены со знаком минус (это сжатия). Максимальные горизонтальные деформации растяжений при полной подработке находятся при  $z=0,3$ ,  $S''(z)$  должно быть равным  $+7,3$ , а не  $-7,3$ . Максимальные деформации сжатий находятся на участке  $z=0,7$  (со знаком минус), а в «Правилах...» [1, 2] — наоборот. Принимаемые меры охраны сооружений земной поверхности должны однозначно уменьшать растяжения или сжатия, а не увеличивать деформации. Длина полумульды  $L_3$  по простиранию пласта на глубине 700 м в соответствии с «Правилами...» составляет 677 м (табл. 2). Охраняемый контур дымовой трубы — около 20 м. Необходимо точно знать его расположение в мульде сдвижения.

Поэтому при переиздании действующих нормативных «Правил...» согласно логике и определениям параметров процесса сдвижения горных пород значения функций типовых кривых  $S(z)$ ,  $S'(z)$ ,  $S''(z)$  в таблицах 17 [1] и А.4–А.6 [2] необходимо развернуть относительно оси  $Z$  при всех степенях подработки земной поверхности  $N$  и учесть влияние больших глубин разработки в расчетах ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности.

**Выводы и направления дальнейших исследований:**

1. Обоснована необходимость и выполнена корректировка методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности нормативных действующих «Правил...» [1, 2].
2. Установлены «слабые места» методик расчета сдвижений и деформаций земной поверхности [1, 2]:

– максимальные оседания  $\eta_0$  и горизонтальные сдвигения  $\xi_0$  при полной подработке не зависят от глубины очистных работ  $H$ ;

– относительная величина максимального оседания  $q_0$  принята постоянной без учета глубины подработки [2, табл. А.1];

– значения угловых параметров процесса сдвижения подработанного массива горных пород приняты постоянными при глубинах от 100 до 1000 м и более [2, табл. 5.1, 5.2];

– значения функций типовых кривых  $S(z)$ ,  $S'(z)$ ,  $S''(z)$  [1, табл. 17; 2, табл. А.4–А.6] для расчета ожидаемых сдвижений и деформаций в точках мульды в соответствии с определениями параметров процесса сдвижения и логикой должны быть развернуты относительно оси  $Z$ .

3. Значения коэффициентов  $q_0$ ,  $a_0$ ,  $K_p$  остаточных расслоений подработанной слоистой толщи,  $K_y$  — увеличения угловых параметров при  $H$  более 600 м и угловые параметры процесса сдвижения требуют

подтверждения по мере накопления результатов равноточных натуральных инструментальных наблюдений при  $H$  более 600 м.

4. Скорректированная методика расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности использована в проекте ДонГТУ «Правил охраны сооружений...» ЛНР, 2021 г., 145 с. (но он не утвержден).

5. Внедрение скорректированной методики расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности будет способствовать ресурсосбережению, выбору оптимальных мер защиты подрабатываемых сооружений, даст экономический эффект при добыче угля на больших глубинах.

Дальнейшие исследования будут направлены на аналогичный анализ сдвижений и деформаций земной поверхности в полумульдах по падению и по восстанию пласта, а также на организацию и проведение натуральных инструментальных наблюдений при их финансировании.

### Список источников

1. ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. СПб. : Межотраслевой науч. центр ВНИМИ, 1998. 291 с.

2. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Отраслевой стандарт Украины. Правила подработкизданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом. К. : УкрНИМИ НАН Украины, 2004. 128 с.

3. Ларченко В. Г., Черных О. А. Определение зависимости параметров сдвижений и деформаций подработанной толщи горных пород от определяющих факторов методом конечных элементов // Вестник МАНЕБ. 2006. № 22. С. 16–24.

4. Ларченко В. Г., Коваленко Е. В., Маталкина Ю. А. Зависимость сдвижений и деформаций земной поверхности от глубины подработки // Сборник научных трудов РАНМИИ. Ч. 16. Международная научно-техническая конференция «Горная геология, геомеханика и маркшейдерия». Донецк : РАНМИИ МО и Науки ДНР, 2019. № 8 (23). С. 129–134.

5. Ларченко В. Г., Маталкина Ю. А., Коваленко Е. В. Оперативный способ определения ожидаемых оседаний земной поверхности при добыче угля на больших глубинах // Сборник научных трудов ДонГТИ. 2021. Вып. 22 (65). С. 29–34. EDN YMCUSA

6. Ларченко В. Г., Коваленко Е. В., Маталкина Ю. А. Прогноз вероятных оседаний земной поверхности при ее подработке на больших глубинах // Сборник научных трудов ДонГТИ. 2021. Вып. 24 (67). С. 29–34. EDN XSWRJP

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

8. Посыльный Ю. В., Джулай А. А., Тетерин Е. А. Максимальные оседания земной поверхности в антрацитовых районах Донбасса // Перспективы развития Восточного Донбасса : сборник науч. трудов ШИЮФ ГТУ (НПИ). Новочеркасск : Набла, 2007. Ч. 2. С. 282–284.

9. Кучин А. С., Назаренко В. А., Балафин И. Е. Исследование граничных угловых параметров на шахтах Западного Донбасса // Форум горняков — 2010 : материалы Международной конф. Днепропетровск : НГУ, 2010. С. 263–267.

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

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. ГБП ДонГТУ Мележиком А. И.,  
консультантом отдела недропользования  
Министерства природных ресурсов и экологии ЛНР Трезневой Д. С.**

Статья поступила в редакцию 27.03.2024.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ларченко Виталий Григорьевич**, канд. техн. наук, доцент каф. геотехнологий и безопасности производств

Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

**Коваленко Елена Владимировна**, директор Центра карьеры ДонГТУ

Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия

**Маталкина Юлия Андреевна**, ведущий инженер каф. геотехнологий и безопасности производств

Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия,  
e-mail: kristel08@yandex.ru

**Larchenko V. G., Kovalenko E. V., \*Matalkina Yu. A.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia, \*e-mail: kristel08@yandex.ru)

### **ADJUSTING THE CALCULATION PROCEDURE FOR THE EXPECTED SHIFTS AND DEFORMATIONS OF THE EARTH'S SURFACE DURING UNDERMINING AT DEEP DEPTHS**

*It was argued that the calculation procedure for the expected shifts and deformations of the Earth's surface in the current normative "Rules..." needs to be adjusted [1, 2]. The calculation procedure for the expected shifts and deformations of the Earth's surface, angular parameters, and half-mould lengths has been corrected.*

**Key words:** *expected maximum shifts, deformations, Earth's surface, stratified rock layer, undermining depth, angular parameters of the shift process, half-mould dimensions, function values of typical curves  $S(z)$ ,  $S(z')$ ,  $S(z'')$ .*

### References

1. PB 07-269-98. Rules for the protection of structures and natural objects from the harmful effects of undermining developments at coal deposits [Pravila ohrany sooruzhenij i prirodnyh ob'ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnyh gornyh razrabotok na ugol'nyh mestorozhdeniyah]. Mezhotraslevoj nauch. centr VNIMI. SPb. 1998. 291 p. (rus)

2. GSTU 101.00159226.001-2003. Industry standard of Ukraine. Rules for mining of buildings, structures and natural objects during coal mining by underground method [Otraslevoj standart Ukrainy. Pravila podrobotki zdaniy, sooruzhenij i prirodnyh ob'ektov pri dobyche uglya podzemnym sposobom]. K. : UkrNIMI NAN Ukraine. 2004. 128 p. (rus)

3. Larchenko V. G., Chernykh O. A. Determination of dependence of shifts and deformation parameters of undermined rock layer on determining factors by the finite-element method [Opredelenie zavisimosti

*parametrov sdvizenij i deformatsij podrobotannoj tolshchi gornyh porod ot opredelyayushchih faktorov metodom konechnyh elementov]. Vestnik of IAELPS. 2006. No. 22. Pp. 16–24. (rus)*

4. Larchenko V. G., Kovalenko E. V., Matalkina Yu. A. Dependence of shifts and deformations of the Earth's surface on the undermining depth [Zavisimost' sdvizenij i deformatsij zemnoj poverhnosti ot glubiny podrobotki]. The collection "Transactions of RANIMI". Ch. 16. Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya "Gornaya geologiya, geomekhanika i markshejderiya". Donetsk : RANIMI Ministry of Education and Science of the DPR. 2019. No. 8 (23). Pp. 129–134. (rus)

5. Larchenko V. G., Matalkina Yu. A., Kovalenko E. V. Operational method for determining the expected subsidence of the Earth's surface during coal mining at deep depths [Operativnyj sposob opredeleniya ozhidaemyh osedanij zemnoj poverhnosti pri dobyche uglya na bol'shiih glubinah]. Scientific works collection of DonSTI. 2021. Iss. 22 (65). Pp. 29–34. EDN YMCUCA (rus)

6. Larchenko V. G., Kovalenko E. V., Matalkina Yu. A. Prediction of probable subsidence of the Earth's surface during its mining at deep depths [Prognoz veroyatnyh osedanij zemnoj poverhnosti pri ee podrobotke na bol'shiih glubinah]. Scientific works collection of DonSTI. 2021. Iss. 24 (67). Pp. 29–34. EDN XSWRJP (rus)

7. Larchenko V. G. Shift and deformation process of the undermined rock massif [Process sdvizenij i deformatsij podrobotannogo massiva gornyh porod]. Osvoenie mestorozhdenij mineral'nyh resursov i podzemnoe stroitel'stvo v slozhnyh gidrogeologicheskikh usloviyah : materialy sed'mogo mezhdunarodnogo simpoziuma. Belgorod : VIOGEM. 2003. Pp. 238–244. (rus)

8. Posyl'nyj Yu. V., Dzhulaj A. A., Teterin E. A. Maximum Earth's surface subsidence in anthracite areas of Donbass [Maksimal'nye osedaniya zemnoj poverhnosti v antracitovyh rajonah Donbassa]. Perspektivy razvitiya Vostochnogo Donbassa: sb. nauch. tr. Shakhtinskiy in-t (filial) YuRGU (NPI). Novocheerkassk : Nabla. 2007. Ch. 2. Pp. 282–284. (rus)

9. Kuchin A. S., Nazarenko V. A., Balafin I. E. Investigation of boundary angle parameters at mines in Western Donbass [Issledovanie granichnyh uglovnyh parametrov na shahtah Zapadnogo Donbassa]. Forum gornyakov-2010 : materialy Mezhdunarodnoj konf. Dnepropetrovsk : NMU. 2010. Pp. 263–267. (rus)

#### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Larchenko Vitaly Grigorievich**, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Geotechnology and Industrial Safety  
Donbas State Technical University,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia

**Kovalenko Elena Vladimirovna**, Director of the Career Centre of DonSTU  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia

**Matalkina Yuliia Andreevna**, Leading Engineer of the Department of Geotechnology and Industrial Safety  
Donbass State Technical University,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia  
e-mail: kristel08@yandex.ru