

УДК 622.837

*к.т.н. Ларченко В. Г.,  
Маталкина Ю. А.  
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, larchenkovitalie@yandex.com),  
Шпакова А. О.  
(Минтопэнерго ЛНР, г. Луганск, ЛНР)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ПОДРАБОТАННОЙ ТОЛЩИ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

*На основе комплексных натурных инструментальных наблюдений установлена аналитическая зависимость продолжительности процесса сдвижений и деформаций подработанного слоистого массива горных пород от глубины подработки и скорости подвигания очистного забоя.*

**Ключевые слова:** *продолжительность процесса сдвижения, зависимость, глубина подработки, скорость подвигания очистного забоя.*

Подземная разработка угольных месторождений в густонаселенных районах Донбасса требует от маркшейдерской службы шахт выбора мер защиты подрабатываемых сооружений, коммуникаций и природных объектов от вредного влияния процесса сдвижения горных пород. Выбор мер защиты сооружений земной поверхности зависит от максимальных значений сдвижений, деформаций и продолжительности процесса сдвижения, которые определяют трудоемкими натурными инструментальными наблюдениями или по действующим «Правилам охраны...» [1, 2]. В «Правилах» [1, 2] методика расчета общей продолжительности процесса сдвижения земной поверхности приведена для глубин подработки до 1000 м, а продолжительность активной стадии — до 700 м. Но методика расчета ожидаемых и вероятных сдвижений и деформаций земной поверхности [1, 2] при больших глубинах очистных работ требует корректировки, что подтверждено исследованиями [3–6].

Поэтому актуальной задачей является определение зависимости общей продолжительности процесса сдвижения подработанных горных пород и земной поверхности от основных влияющих факторов, так как очистные работы на ряде шахт Донбасса производятся уже на глубинах 1200 м и более.

**Целью** настоящей работы является установление зависимости общей продолжи-

тельности процесса сдвижения подработанного слоистого массива горных пород  $T$  и ее активной стадии (опасных деформаций)  $t$  от глубины горных работ  $H$  и скорости подвигания очистных забоев  $C$ .

**Объект исследования** — процесс сдвижений и деформаций толщи слоистых горных пород при добыче угля подземным способом.

**Предмет исследования** — зависимость общей продолжительности процесса сдвижений и деформаций подработанного слоистого массива горных пород и земной поверхности  $T$  от основных влияющих факторов.

**Задачи исследований:**

– определить основные факторы, влияющие на общую продолжительность процесса сдвижения горных пород, ее активную стадию и стадии опасных деформаций;

– установить степень влияния глубины горных работ  $H$  и скорости подвигания очистных забоев  $C$  на общую продолжительность процесса сдвижения подработанного массива слоистых пород  $T$  и на стадии опасных наклонов и горизонтальных деформаций земной поверхности  $t$ .

Исследования выполнялись методами:

а) комплексными инструментальными наблюдениями, включающими систематические наблюдения:

– на четырех профильных линиях реперов земной поверхности (станции № 12, 13) при ее полной подработке;

– за глубинными реперами, заложенными в пробуренные с земной поверхности вертикальные скважины в главных сечениях мульд сдвижения (станции № 12, 13 над лавами № 604, 606 шахты «Степная»);

– по профильным линиям реперов в почве дренажного штрека и наклонного квершлага шахты «Степная» [8];

б) теоретическими исследованиями методом конечных элементов [9];

в) сбора и анализа результатов редких натуральных наблюдений за сдвижением и деформациями земной поверхности в восточных районах Донбасса;

г) определения пространственного положения очистных забоев, их скоростей подвигания относительно реперов профильных линий наблюдательных станций, деформаций и продолжительности процесса сдвижения земной поверхности;

д) определения вынимаемой мощности пластов на каждую дату наблюдений.

В действующем отраслевом стандарте [1] продолжительность и активная стадия процесса сдвижения в Донецком бассейне приведены в таблице 5.3 (табл. 1).

Табличная форма визуально недостаточно отражает влияние определяющих факторов (глубины подработки  $H$  и скорости подвигания очистного забоя  $C$ ) на продолжительность процесса сдвижения земной поверхности  $T$  и ее активную стадию  $t$ , поэтому для наглядности по данным таблицы 1 построены

графики зависимости  $T$  и  $t$  отдельно от  $H$  при различных  $C$  (рис. 1) и зависимости  $T$  от  $C$  при  $H$  от 100 до 1000 м (рис. 2).

Анализ рисунков 1, 2 показывает, что согласно «Правилам» [1] при скоростях подвигания очистных забоев  $C$  от 20 до 100 м/месяц зависимость общей продолжительности процесса сдвижения земной поверхности  $T$  и ее активной стадии  $t$  от глубины подработки  $H$  близка к прямолинейной (рис. 1).

Зависимость же  $T$  от скорости подвигания очистного забоя  $C$  при  $H$  в пределах 300–1000 м является степенной различных значений, за исключением  $H=100$  м, где зависимость продолжительности  $T$  от  $C$  — прямолинейная (рис. 2).

Зависимости общей продолжительности процесса сдвижения массива слоистых горных пород  $T$  от скорости подвигания очистного забоя  $C$ , по данным «Правил» [1], различные при глубинах от 100 до 1000 м (рис. 2) и вызваны тем, что в действующих «Правилах» не учтено влияние ряда факторов:

– крепости горных пород (марки угля);  
– степени подработки земной поверхности (отношений размеров выработанного пространства по падению  $D_1$  и по простиранию  $D_2$  к  $H$ );

– вынимаемой мощности пласта  $m$ , а также недостаточно четкими критериями определения начала, окончания процесса сдвижения и интервала между наблюдениями.

Таблица 1

Продолжительность и активная стадия процесса сдвижения от одной горной выработки

Средняя глубина разработки, $H$ , м	Продолжительность и активная стадия процесса сдвижения при $C_{ср.}$ м/мес				
	$C_{ср} \leq 20$	$C_{ср} = 40$	$C_{ср} = 60$	$C_{ср} = 80$	$C_{ср} > 100$
Продолжительность процесса сдвижения, мес.					
До 100	6	5	4	3	2
300	16	10	7	5	4
500	26	18	12	8	7
700	37	25	16	11	9
1000	51	35	22	15	12
Активная стадия процесса сдвижения, мес.					
До 100	4	3	2	2	1
300	10	6	4	3	2
500	14	10	7	4	3
700	20	13	9	5	4

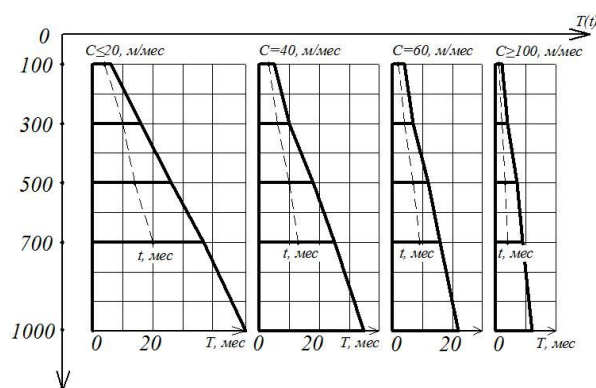


Рисунок 1 Зависимость общей продолжительности процесса сдвижения  $T$  и периода активной стадии  $t$  от глубины разработки  $H$  при скоростях подвигания забоя  $C = 20\text{--}100$  м/мес согласно таблице 5.3 [1]

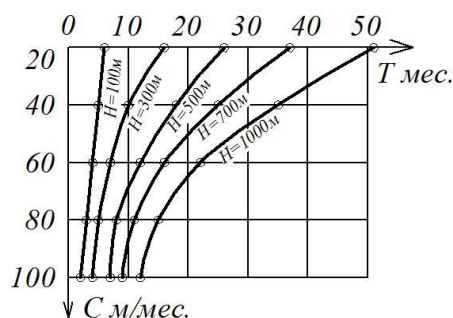


Рисунок 2 Зависимость общей продолжительности процесса сдвижения  $T$  от скорости подвигания очистных забоев  $C$  при глубинах подработки  $H = 100\text{--}1000$  м

Началом процесса сдвижения точки земной поверхности (репера) принято считать дату, на которую ее оседание достигает 15 мм. Окончанием процесса сдвижения земной поверхности считают дату, после которой суммарные оседания этого репера на протяжении шести месяцев не превышают 30 мм или 10 % от максимальных оседаний.

В соответствии с действующей до 1987 года «Инструкцией по наблюдениям за сдвижением земной поверхности...» [10] интервалы между наблюдениями рекомендовано принимать до 9 суток и более. При таком интервале наблюдений погрешности определения максимальных деформаций при их временной концентрации, скорости

оседаний и продолжительности процесса сдвижения земной поверхности значительно увеличиваются, особенно при малых глубинах подработки, так как максимальная скорость оседаний земной поверхности на станции № 13 достигла 66 мм/сутки. Поэтому на основе большого опыта натурных частотных равноточных наблюдений с целью повышения точности определения общей продолжительности процесса сдвижения, стадий с опасными деформациями, всех параметров сдвижений и деформаций земной поверхности рекомендуем интервал между наблюдениями принимать не более  $t$ , вычисляемого по формуле (1):

$$t = l_0 / C + (H / 200) \cdot k_t, \text{ сут.}, \quad (1)$$

где  $l_0$  — шаг обрушения основной кровли, м;

$C$  — скорость подвигания очистного забоя, м/сутки;

$H$  — средняя глубина подработки, м;

$k_t$  — поправка за счет увеличения глубины горных работ, 1/м:

а) при первичной подработке:

– в антрацитовых районах Донбасса  $k_t = 1,8$ ;

– при разработке угля других марок и отношении мощности четвертичных отложений  $h/H \leq 0,3$  —  $k_t = 1,4$ ;

– углей марок Д–Г при отношении  $h/H > 0,3$  —  $k_t = 1,0$ ;

б) при повторной подработке:

– в районах залегания антрацита  $k_t = 1,4$ ;

– в районах залегания угля других марок  $k_t = 1,0$ .

Дифференцировать зависимость общей продолжительности процесса сдвижения подработанного массива пород  $T$  от глубины подработки  $H$  можно методом «исключения» влияющих на  $T$  факторов, что авторам удалось, заложив комплексные наблюдательные станции № 12 и 13 и выполнив равноточные частотные наблюдения от начала до окончания процесса сдвижения в горно-геологических условиях шахты «Степная» при полной подработке, охватив инструментальными систе-

матическими наблюдениями толщ пород одного строения, прочности, скорости подвигания очистных забоев, вынимаемой мощности пласта, постоянной длины лав:

– в наклонном квершлагае от 5 до 10 м выше кровли разрабатываемого пласта  $C_6$  (рис. 3);

– в дренажном штреке, проведенном по пласту  $C_6^1$  в 10 м выше кровли пласта  $C_6$  (рис. 3);

– частотными наблюдениями за глубинными реперами, заложенными в пробуренные с земной поверхности вертикальные скважины в главных сечениях мульды сдвижения выше безопасной глубины подработки (25 м) и до четвертичных отложений (рис. 3);

– по четырем профильным линиям грунтовых реперов земной поверхности (станции № 12, 13).

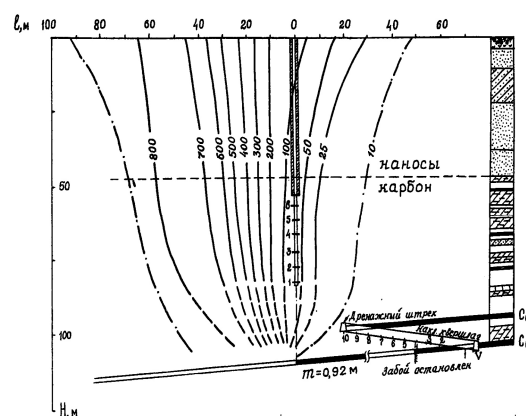


Рисунок 3 Изолинии оседаний толщ пород по ст. № 13 шахты «Степная»

Результаты комплексных натурных наблюдений по определению общей продолжительности процесса сдвижения при полной подработке подработанного массива пород  $T$  приведены в таблице 2.

Таблица 2

Продолжительность и активная стадия процесса сдвижения от одной горной выработки

№ станции	№ реперов	H, м	$C_{cp.}$ , м/сут.	T, сут.	$\alpha_1 = \frac{C_{cp.} \cdot T}{H}$	$\alpha = \frac{C_{cp.} \cdot T}{\sqrt{H}}$
Толщи горных пород						
12	1Г	27	1,47	60	3,27	16,96
12	2Г	37	1,47	64	2,54	15,47
12	3Г	42	1,46	69	2,40	15,55
12	4Г	47	1,45	78	2,41	16,49
12	47П	104	1,47	112	1,58	16,14
13	1Г	26,4	2,15	41	3,34	17,15
Земной поверхности						
13	2Г	32	2,15	42	2,82	15,9
13	3Г	37	2,15	42	2,44	14,85
13	4Г	43	2,15	43	2,15	14,09
13	5Г	48	2,15	43	1,93	13,34
13	6Г	53	2,15	44	1,78	12,99
13	35П	109	2,13	80	1,56	16,32
5	19–21	162	1,82	120	1,35	17,15
7	56–61	192	2,16	108	1,22	16,83
8	37–45	183	1,51	153	1,26	17,07
9	41–46	244	1,40	186	1,07	16,67
10	28–30	154	1,25	170	1,38	17,12
11	84–86	159	2,36	91	1,35	17,03
12	43–44	106	1,42	118	1,58	16,27
13	31–43	108	2,03	87	1,64	17,0
Среднее значение					1,95	16,0

В таблице 2 при определении аналитической зависимости общей продолжительности процесса сдвижения земной поверхности  $T$  от  $H$  не учтены прочность горных пород и мощность пластов, так как на граничащих между собой шахтах они изменяются незначительно (не учитывались в действующих «Правилах» [1, 2]).

Для «исключения» влияния скорости подвигания очистных забоев  $C$  на  $T$  при глубинах подработки до 300 м в соответствии с рисунком 1 [1] выполнен расчет  $T$  при постоянной скорости их подвигания  $C=2,1$  м/сутки и полной подработке. По результатам вычисленных  $T$  построен график зависимости  $T$  от  $H$  (рис. 4), свидетельствующий, что зависимость общей продолжительности сдвижения горных пород от глубины подработки в горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса является не прямолинейной, как считалось ранее, а гиперболической и может быть определена с относительной средней квадратической погрешностью 7,6 % по формуле (2):

$$T = \alpha \cdot \frac{\sqrt{H}}{C}, \text{ сут.}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — эмпирический коэффициент, установленный по критерию оседаний, равный  $16,0 \text{ м}^{1/2}$ .

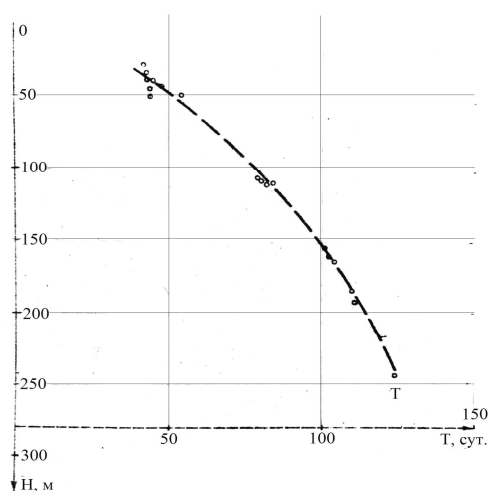


Рисунок 4 Зависимость общей продолжительности сдвижения  $T$  от глубины подработки  $H$

При прямолинейной зависимости  $T$  от  $H$  (табл. 2) относительная средняя квадратическая погрешность коэффициента  $\alpha_1$  составила 35,2 %.

Прочность горных пород в восточных районах Донбасса не менее чем в два раза больше, чем в Западном Донбассе, поэтому и коэффициент  $\alpha$  в формуле (2) должен быть значительно большим. По результатам единичных достоверных натуральных наблюдений в восточных районах Донбасса коэффициент  $\alpha$  в формуле (2) равен  $29 \text{ м}^{1/2}$ . Так как среднюю скорость чаще определяют размерностью м/месяц, то при вычислении общей продолжительности процесса сдвижения  $T$  (месяцев) при полной подработке земной поверхности в Восточном Донбассе коэффициент  $\alpha$  в формуле (2) следует принимать: в районах залегания антрацитов  $\alpha=31 \text{ м}^{1/2}$ ; в районах залегания углей других марок при  $h/H < 0,3$   $\alpha=29 \text{ м}^{1/2}$ ; в районах залегания углей марок Д–Г при  $h/H > 0,3$   $\alpha=27 \text{ м}^{1/2}$ .

В «Правилах» [1] выделена активная стадия процесса сдвижения, под которой понимают часть общей продолжительности, когда скорость оседаний земной поверхности достигла 50 мм и более в месяц. Активная стадия используется только при выборе мер охраны железных дорог. Более востребованными при выборе мер охраны инженерных сооружений являются стадии с опасными деформациями (и аналогично длины полумульд с опасными деформациями), определяемые:

- для высотных сооружений по критерию наклонов при  $i$ , равном и более  $4 \cdot 10^{-3}$ ;
- для вытянутых (линейных) сооружений и коммуникаций — по горизонтальным деформациям  $\varepsilon$ , когда  $\varepsilon$  равны или более  $2 \cdot 10^{-3}$ . Кроме того, в горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса, где четвертичные отложения включают обводненные пески (пльвуны) мощностью более 20 метров, в процессе добычи угля в смежных лавах происходит дренирование пльвунов, вызывающее оседание земной поверхности еще до под-

работки и после окончания процесса сдвижения до 30 мм по критериям наклонов и горизонтальных деформаций.

Инструментальными натурными наблюдениями в условиях шахт Западного Донбасса установлено, что в формуле (2) по критерию наклонов коэффициент  $\alpha = 14,9 \text{ м}^{1/2}$  (на 7 % меньше, чем по критерию оседаний), а по критерию горизонтальных деформаций  $\alpha = 19,3 \text{ м}^{1/2}$  (на 20 % больше, чем по критерию оседаний) (рис. 5).

А это значит, что по данным «Правил» [1] и по аналогии с Западным Донбассом при глубине подработки 1000 м, скорости подвигания очистного забоя 80 м/месяц продолжительность процесса сдвижения земной поверхности по критерию горизонтальных деформаций на четыре месяца больше, чем по критерию наклонов, и существенно влияет на эффективность, сроки внедрения мер защиты подрабатываемых сооружений и начало безопасного строительства на подработанных территориях в зависимости от их вида.

Поэтому в зависимости от подрабатываемого сооружения (высотное или вытянутое) для более точного определения общей продолжительности  $T$  и стадий с опасными деформациями земной поверхности необходимо  $t_{\epsilon}$ ,  $t_i$  определять по соответствующему критерию. Наибольшие общая продолжительность процесса сдвижения, стадии с опасными деформациями и длины полумульд в горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса по критерию горизонтальных деформаций (рис. 5). Длительные медленные оседания земной поверхности за счет дренирования пльвунов менее опасны для инженерных сооружений.

В таблице 1 «Правил подработки...» [1] продолжительность процесса сдвижения  $T$  приведена от «одной горной выработки», где при  $H = 1000 \text{ м}$ , скорости подвигания 100 м в месяц  $T$  «составила» 12 месяцев. Но даже при длинах столба более 1000 м, лавы 300 м отношение  $D/H = 0,3$ , при котором процесс сдвижения только доходит до земной поверхности, а полная подработка

наступит при отношении  $(D/H) > 1$ , то есть после отработки четвертой смежной лавы без оставления межлавных целиков. При длине столба 1000 и более метров, скорости подвигания очистного забоя 100 м/месяц процесс сдвижения над этим участком земной поверхности будет длиться более четырех лет, а не 12 месяцев [1], что подтверждает актуальную необходимость изучения параметров процесса сдвижения при добыче угля на больших глубинах.

Определить общую продолжительность сдвижений и деформаций подработанной земной поверхности в восточных районах Донбасса можно только точными натурными инструментальными систематическими наблюдениями, или заложив автоматизированные наблюдательные станции [11], о чем неоднократно кафедра МГиГ выходила с предложениями.

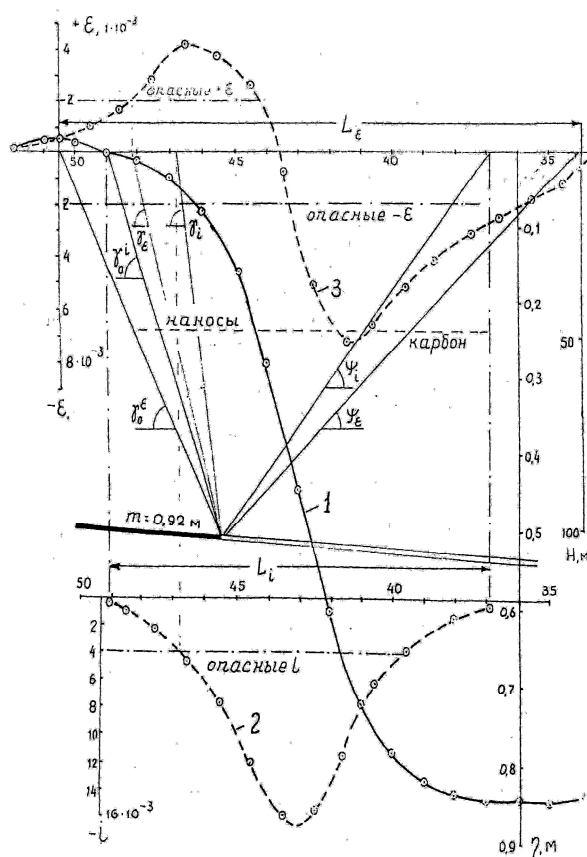


Рисунок 5 Кривые оседаний (1), наклонов (2) и горизонтальных деформаций (3) земной поверхности по станции № 13

Отсутствие инструментальных наблюдений за деформациями уникальных инженерных сооружений и упреждающих мер их защиты может стать причиной аварий и многомиллиардных затрат на ликвидацию тяжелых последствий (разрыв емкости с нефтью в окрестностях Норильска, аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, на Транссибирской железной дороге, на нефтепроводах, газопроводах и водоводах, оползни в Кавказском регионе).

#### Выводы:

1. Впервые по результатам единственных комплексных равноточных систематических наблюдений при полной подработке земной поверхности на малых глубинах установлена аналитическая зависимость общей продолжительности процесса сдвижений и деформаций горных пород от основных влияющих факторов.

2. Для повышения эффективности мер защиты подрабатываемых сооружений и сроков их внедрения целесообразно устанавливать стадии с опасными наклонами для высотных сооружений и с опасными

горизонтальными деформациями для вытянутых сооружений и коммуникаций по соответствующим критериям  $i$  или  $\varepsilon$ , так как в зависимости от горно-геологических условий стадии с опасными деформациями сооружений и длины полумульд сдвижения на земной поверхности могут отличаться до 25 % и более.

3. Очевидна необходимость натуральных систематических инструментальных наблюдений за сдвижением и деформациями подрабатываемых сооружений и коммуникаций земной поверхности при добыче угля на глубинах 600–1200 м.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики прогноза максимальных значений вертикальных и горизонтальных деформаций земной поверхности, участков их концентрации и распределения деформаций в главных сечениях мульды при подземной разработке угольных месторождений на глубинах до 1200 м, что необходимо знать для выбора оптимальных мер защиты сооружений, коммуникаций и природных объектов.

#### 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 РФ 16.03.1998 № 13.* — Введ. 1998–10–01. — СПб. : Межотраслевой науч. центр ВНИМИ, 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 РАННИМИ : 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. *Оперативный способ определения ожидаемых оседаний земной поверхности при добыче угля на больших глубинах [Текст] / В. Г. Ларченко, Ю. А. Маталкина, Е. В. Коваленко // Сборник научных трудов ДонГТИ. — 2020. — Вып. 22 (65). — С. 29–34.*
6. Ларченко, В. Г. *Прогноз вероятных оседаний земной поверхности при ее подработке на больших глубинах [Текст] / В. Г. Ларченко, Е. В. Коваленко, Ю. А. Маталкина // Сборник научных трудов ДонГТИ. — 2021. — Вып. 24 (67). — С. 29–34.*
7. 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.*

8. Ларченко, В. Г. Процесс сдвижений и деформаций подработанного массива горных пород [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.

9. 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.

10. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и за подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях [Текст] / Всесоюз. науч.-исслед. маркшейдерский ин-т ВНИМИ. — Л. : [б. и.], 1958. — 172 с.

11. 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.

© Маталкина Ю. А.

© Шпакова А. О.

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

*Статья поступила в редакцию 22.02.2023.*

**PhD in Engineering Larchenko V. G., Matalkina Yu. A. (DonSTI, Alchevsk, LPR, larchenkovitalie@yandex.com), Shpakova A. O. (Ministry of Fuel and Power, Lugansk, LPR)**  
**DETERMINING THE PROCESS TIME OF DISPLACEMENT OF THE UNDERMINED THICKNESS OF ROCKS AND THE EARTH'S SURFACE**

*On the basis of complex full-scale instrumental observations, the analytical dependence of process time of displacements and deformations of the undermined layered rock mass on the undermining depth and the rate of advance of the working face is determined.*

**Key words:** *process time displacement, dependence, undermining depth, rate of advance of the working face.*