

УДК 622.83:622.023.23

асс. *Корецкая Е. Г.*  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, [balgala@ukr.net](mailto:balgala@ukr.net))

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПОДРАБОТКИ ЛАВОЙ № 35<sup>ВОСТ.</sup> пл. h<sub>8</sub> ШАХТЫ им. М. В. ФРУНЗЕ

*Приведены результаты исследования максимальных оседаний земной поверхности с учётом чередования крепких пород, выраженные в процентном отношении к глубине ведения очистных работ, путём моделирования и натурных наблюдений подрабатываемой железной дороги.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, метод конечных элементов, максимальные оседания земной поверхности, процентное содержание, крепкие породные слои.

**Актуальность.** Прогноз сдвижения земной поверхности рассчитывается в соответствии с нормативным документом [1]. Данная методика учитывает влияние крепких пород (песчаник, известняк и т. д.), залегающих в подрабатываемой толще, только косвенно ( $q_0$  — относительная величина максимального оседания). Основными исходными данными для этой методики являются: мощность вынимаемого пласта, отношение ширины выработанного пространства к глубине разработки, угол падения пласта, метаморфизм залегающих пород и др.

Решить эту проблему возможно, используя фактические инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности, вызванным ведением очистных работ при отработке тонких и средней мощности пологих угольных пластов, и математическим моделированием, например методом конечных элементов, которые позволяют достичь высокой точности [2]. При определении величины сдвижения земной поверхности математическим методом создаются расчётные схемы, которые учитывают слоистость, чередование слабых, крепких слоёв и прослоек, существенно влияющие на параметры процесса сдвижения [3].

**Цель исследования** — учесть влияние крепких пород подработанной толщи при определении максимальных оседаний земной поверхности.

Учёт влияния крепких пород подработанной толщи определён путём сравнения максимальных значений, которые получе-

ны тремя методами: нивелированием железной дороги, моделированием методом конечных элементов и вычислением по методике «Правил охраны ...» [1].

Первый метод: проводилась нивелировка железной дороги, расположенной диагонально к линии лавы № 35<sup>ВОСТ.</sup> пласта h<sub>8</sub> в горно-геологических условиях шахты им. М. В. Фрунзе ПО «Ровенькиантрацит» в 2000–2001 годах. Расстояние между реперами составляло 30 м. Замеры проводили раз в квартал.

Второй метод: вычисления проводились на плоских моделях с помощью программного вычислительного комплекса «Лира», реализующего метод конечных элементов. Были созданы три расчётные схемы: первая максимально учитывает фактические горно-геологические и горнотехнические условия подрабатываемой толщи, в которой содержание крепких пород составляет 29 % с учётом угольных пластов и прослоек; во второй породные слои заменены на крепкие породы (песчаники и известняки — 100 %), а в третьей — на аргиллиты (при полном отсутствии крепких пород — 0 %).

Процесс оседания земной поверхности моделировался с учётом пошагового подвигания очистного забоя, шаг выемки — 30 м, что в среднем соответствует подвиганию лавы за месяц. При этом поведение пород максимально приближено к упругопластическому деформированию. Модели учитывали увеличение объёма разрушенных и обрушенных пород путём подстановки на место

пошагово вынутых элементов новых, с прочностными свойствами, соответствующими обрушенным породам [4]. Расчётная модель имеет размеры 3465 м по простиранию и 928 м по глубине. Размеры конечных элементов назначались в зависимости от мощности угольных пластов, пропластков и вмещающих пород. Размер элемента в моделях по мощности составляет от 0,2 до 7,5 м. Размер элементов по простиранию — 5 м. Модели состоят из 190073 элементов. Тип конечных элементов — физически нелинейный, универсальный, прямоугольный конечный элемент (КЭ) плоской задачи (грунт). Критерий разрушения определялся теорией прочности Кулона – Мора для грунтов. Моделируемая подработанная толща пород была представлена чередующимися слоями различных типов пород, отличающимися между собой деформационными характеристиками, соответствующими стратиграфической колонке, полученной в результате бурения разведочных скважин. Физико-механические характеристики угля и вмещающих его пород приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики угля и вмещающих его пород

Порода	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона	Коэффициент сцепления, МПа	Угол внутреннего трения
аргиллит	$2 \cdot 10^4$	0,2	5	30
алевролит	$2 \cdot 10^4$	0,2	8	35
песчаник	$2,5 \cdot 10^4$	0,2	8	35
известняк	$2,5 \cdot 10^4$	0,2	8	35
угольный пласт	$0,5 \cdot 10^4$	0,3	3,4	37

Для моделирования изменения свойств обрушенных во времени пород использован процессор «МОНТАЖ».

Третий метод: прогнозируемые максимальные оседания, полученные в результате вычислений по методике [1].

Пласт  $h_8$  — сложного строения, вынимаемая мощность в среднем составляет 1,56 м, угол падения на выемочном участке изменяется от  $0^\circ$  до  $1^\circ$ . Глубина расположения лавы — 880 м. Выемка антрацита проводилась механизированным комплексом 1КМТ–1,5. Средняя скорость подвигания очистного забоя 30 м/мес.

Выкопировка из плана исследуемого участка представлена на рисунке 1. Модели составлялись вдоль отработки лавы № 35<sup>вост.</sup>, полученные оседания отображены на рисунке 2. Железная дорога пересекает эту лаву диагонально к линии очистного забоя. Работоспособность расчётных схем подтверждается сравнением оседаний, полученных моделированием, с фактическими на пикетах 6, 7, 8, 9 (рис. 3), максимальное отклонение составляет от 1 до 11 %. Среднее значение показано на рисунке 4. Соответственно, данные, полученные в результате моделирования первой модели (29 % крепких пород), в дальнейшем можно использовать как фактические.

Результаты максимальных оседаний земной поверхности, полученные разными методами, представлены в таблице 2 и показаны на рисунке 5.

Путём интерполяции зависимостей максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства к глубине разработки по данным моделей, содержащих 0 %, 29 % и 100 % крепких пород в подрабатываемой толще, получены зависимости максимальных оседаний при других процентных содержаниях крепких пород, представленных на рисунке 6. На основании сравнения максимальных оседаний, полученных на моделях и рассчитанных по нормативному документу [1], определены поправочные коэффициенты, позволяющие учесть содержание крепких пород (табл. 3), которые можно ввести в «Правила подработки зданий, сооружений и водных объектов при отработке угля подземным способом» [1].

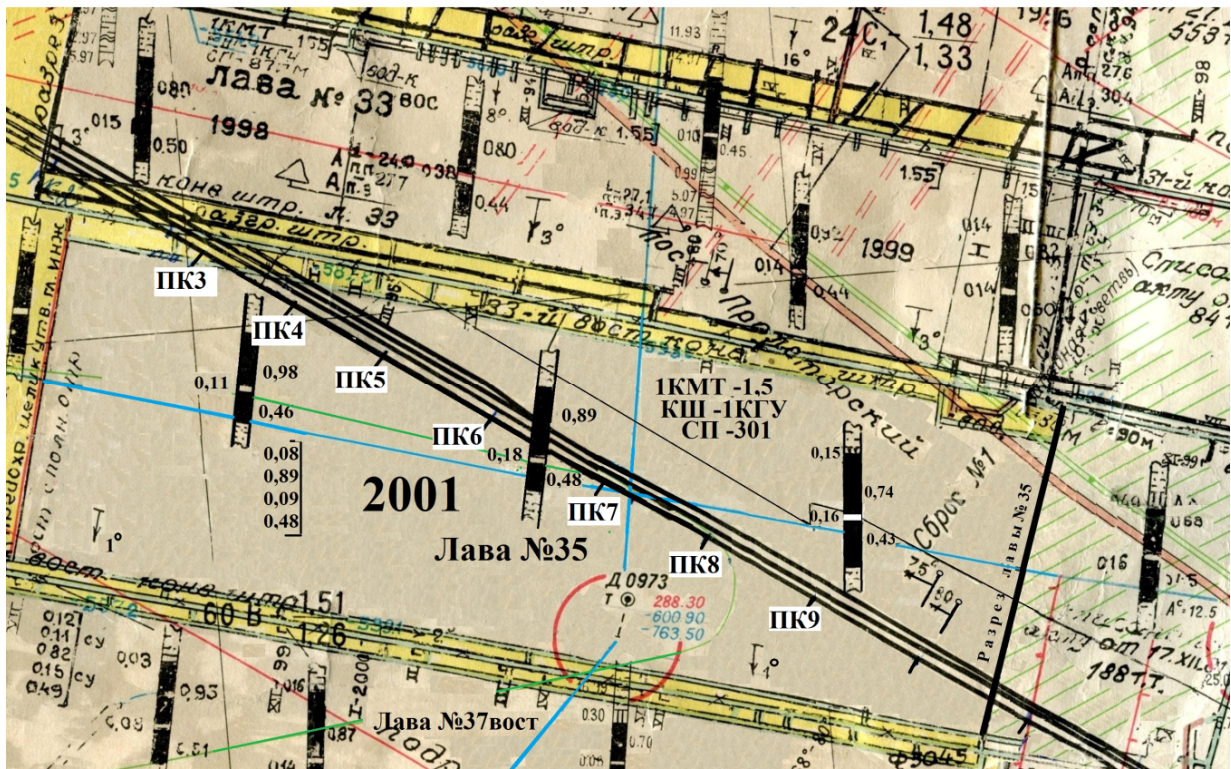


Рисунок 1 Выкопировка из плана горных работ пласта  $h_8$  ш. им. М. В. Фрунзе

Линия разреза земной поверхности вдоль железной дороги, подработанной лавой №35

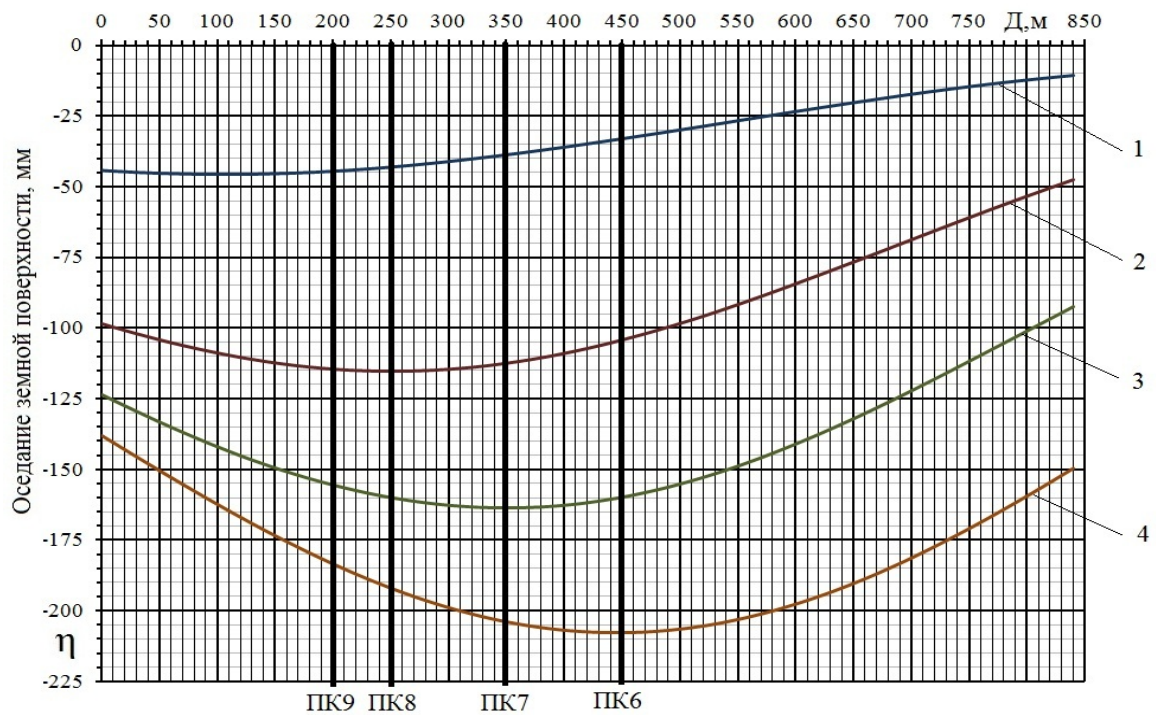


Рисунок 2 Оседания земной поверхности, полученные при содержании крепких пород 29 %  
(1, 2, 3, 4 — оседания земной поверхности при отработке лавы № 35<sup>вост</sup>  
соответственно 240 м, 480 м, 660 м, 840 м)

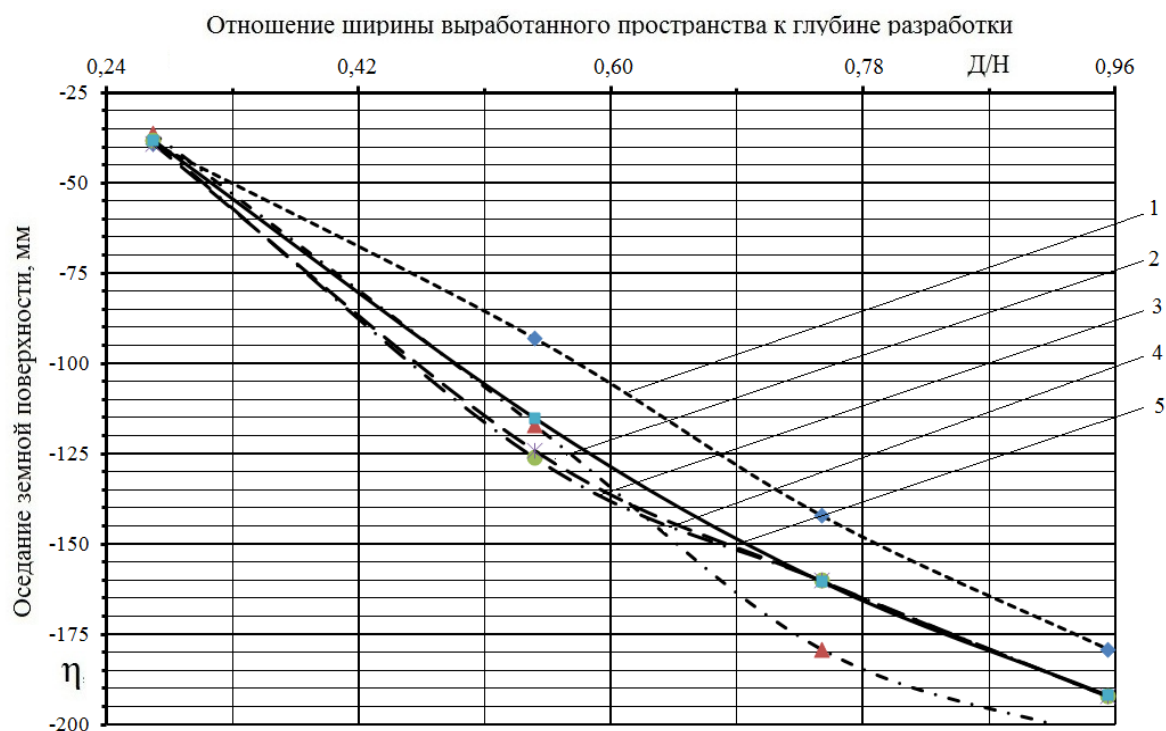


Рисунок 3 Оседания земной поверхности, вызванные подвиганием лавы № 35<sup>восст</sup> соответственно: 1 — на ПК6; 2 — на ПК7; 3 — на ПК8; 4 — на ПК9; 5 — среднее значение оседания

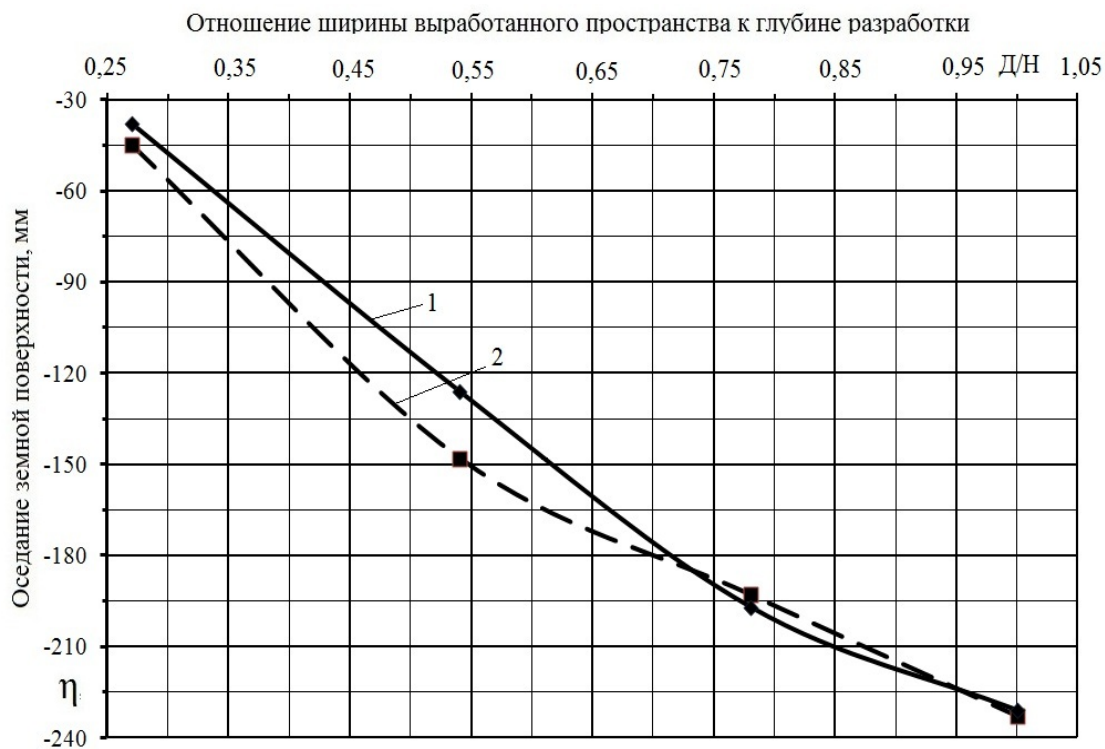


Рисунок 4 Оседания земной поверхности, вызванные подвиганием лавы № 35<sup>восст</sup>. (1 — оседания, полученные на модели; 2 — среднее значение оседания, полученное по пикетам 6, 7, 8, 9)



Таблица 2

Максимальные оседания земной поверхности, полученные различными методами

Отношение ширины выработанного пространства $D$ к глубине разработки $H$	Максимальные оседания, мм				
	фактические	нормативные	полученные на моделях при содержании крепких пород		
			0 %	29 %	100 %
0,27	-38	-72	-49	-43	-29
0,55	-126	-177	-129	-115	-77
0,75	-160	-192	-180	-159	-111
0,95	-192	-192	-220	-190	-139

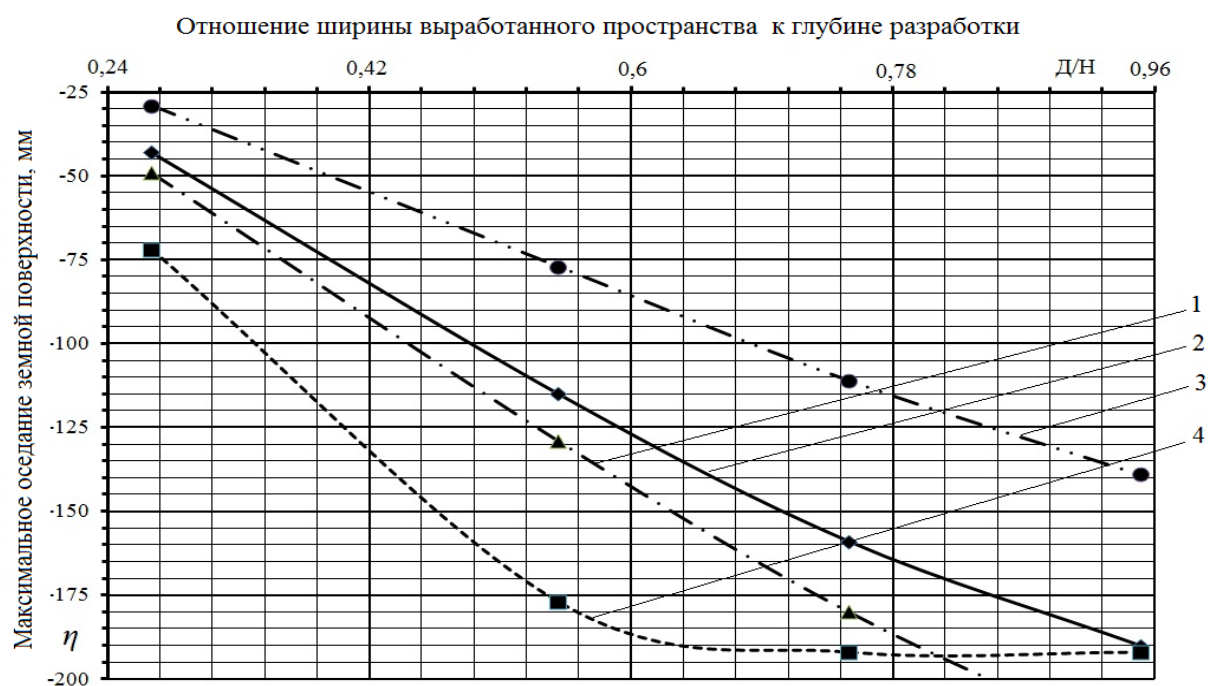


Рисунок 5 Зависимость максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства  $D$  к глубине разработки  $H$  угольного пласта (1, 2, 3 — зависимости максимальных оседаний от  $D/H$ , полученных при математическом моделировании соответственно при содержании крепких пород 0 %, 29 % и 100 %; 4 — зависимость максимальных оседаний от  $D/H$ , вычисленных по методике «Правил охраны ...»)

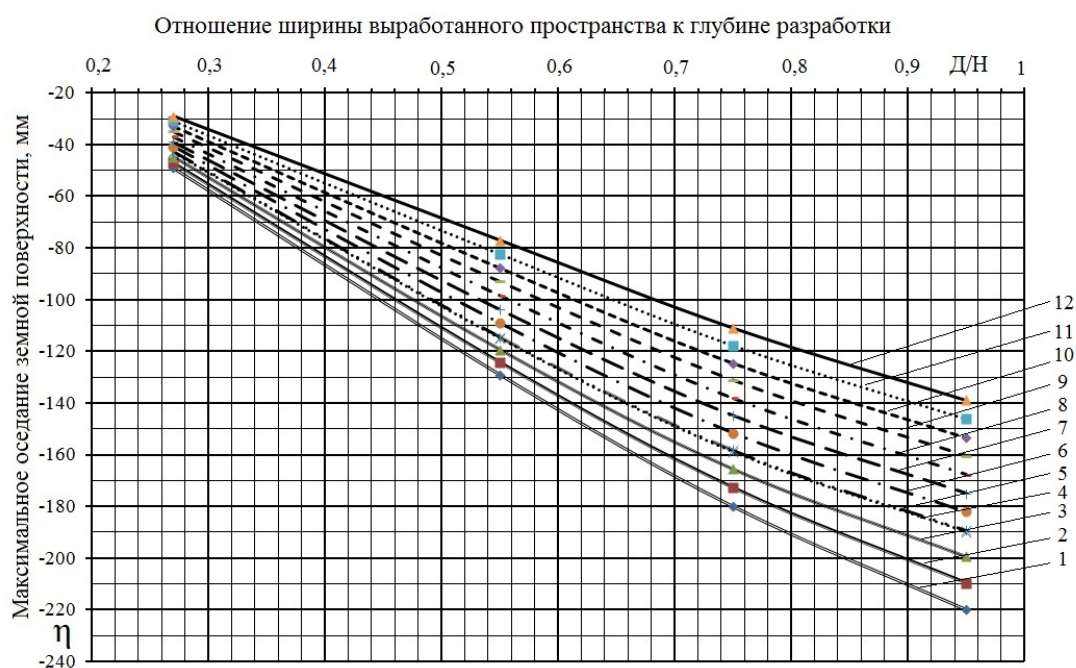


Рисунок 6 Зависимости максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства  $D$  к глубине  $H$  при разном содержании крепких пород в подработанной толще (1 — 0 %; 2 — 10 %; 3 — 20 %; 4 — 29 %; 5 — 30 %; 6 — 40 %; 7 — 50 %; 8 — 60 %; 9 — 70 %; 10 — 80 %; 11 — 90 %; 12 — 100 %)

Таблица 3

Поправочный коэффициент, вводимый при определении максимальных оседаний, вычисленный по нормативной методике, при различном процентном содержании песчаника в подработанной толще

Д/Н	Содержание крепких пород в земной толще, %										
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	100 %
0,27	1,47	1,53	1,60	1,67	1,68	1,76	1,85	1,95	2,06	2,19	2,32
0,55	1,37	1,43	1,48	1,54	1,55	1,62	1,71	1,80	1,90	2,02	2,15
0,75	1,07	1,11	1,16	1,21	1,21	1,27	1,33	1,39	1,46	1,54	1,63
0,95	0,87	0,92	0,96	1,01	1,01	1,05	1,10	1,14	1,20	1,25	1,31

**Выводы.** При прогнозировании сдвижений земной поверхности необходимо учитывать все крепкие слои пород и их чередование — от отработываемого пласта до поверхности.

При сравнении результатов максимальных оседаний, рассчитанных по «Правилам подработки...» [1] и путём математического моделирования, получены поправочные коэффициенты,

которые позволяют учесть слои крепких пород, на примере разработки угольного пласта  $h_8$  лавой №35<sup>ВОСТ.</sup> в условиях шахты им. М. В. Фрунзе бывшего ПО «Ровенькиантрацит».

Скорректированное максимальное оседание позволит повысить точность вычисления остальных параметров сдвижений и деформаций в точках главных сечений мульды по «Правилам подработки...».

**Бібліографічний список**

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Галузевий стандарт України [Текст] : ГСТУ 101.00159226.001-2003 : затв. Мінпаливноенерго України 28.11.2003. — Чинний з 01.01.2004. — Київ, 2004. — 127 с.
2. Аверин, Г. А. Прогнозирование максимальных оседаний земной поверхности при различном содержании крепких породных слоёв подработанного массива [Текст] / Г. А. Аверин, В. Г. Ларченко, Е. Г. Корецкая, О. Г. Доценко // Уголь Украины. — 2016. — № 8. — С. 4–7.
3. Аверин, Г. А. Влияние слоистости на оседание земной поверхности [Текст] / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины. — 2010. — № 10. — С. 34–35.
4. Аверин, Г. А. Механические характеристики пород кровли [Текст] / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины, 2010. — № 4. — С. 38–40.

© Корецкая Е. Г.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,  
и. о. гл. инженера Филиала «Шахта им. XIX съезда КПСС»  
ГУП ЛНР «Центруголь» Зубковым С. В.*

Статья поступила в редакцию 08.11.18.

**Корецька О. Г.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, [balgala@ukr.net](mailto:balgala@ukr.net))

**МОДЕЛЮВАННЯ ОСІДАНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В УМОВАХ ПІДРОБКИ ЛАВОЮ  
№ 35<sup>СХІД</sup> п.л. h<sub>8</sub> ШАХТИ ім. М. В. ФРУНЗЕ**

Наведено результати дослідження максимальних осідань земної поверхні з урахуванням чергування міцних порід, які виражено в процентному відношенні до глибини ведення очисних робіт, шляхом моделювання та натурних спостережень за залізницею, що підроблялася.

**Ключові слова:** математичне моделювання, метод кінцевих елементів, максимальні осідання земної поверхні, процентний зміст, міцні породні шари.

**Koretskaia E. G.** (DonSTU, Alchevsk, LPR, [balgala@ukr.net](mailto:balgala@ukr.net))

**MODELING OF THE EARTH CRUST SUBSIDENCE UNDER THE CONDITIONS  
OF LONGWALL UNDERMINING № 35<sup>EAST</sup>. LAYER h<sub>8</sub> OF FRUNZE MINE**

The research results of maximum earth crust subsidence are shown considering hard rock alternations presented in percentage ratio to a depth of coal-face working, by modeling and naturalistic observations for the railway undermined.

**Key words:** mathematical modeling, finite element method, maximum earth crust subsidence, percentage, hard rock layers.

