

УДК 622.83:622.023.23

к.т.н. Аверин Г. А.,
д.т.н. Клишин Н. К.,
к.т.н. Смекалин Е. С.,
Корецкая Е. Г.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, balgala@ukr.net)

ВЛИЯНИЕ КРЕПКИХ ПОРОД НА МАКСИМАЛЬНЫЕ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ № 5 Ш/У «ВОРОШИЛОВСКОЕ»

Приведены результаты исследования максимальных оседаний земной поверхности с учётом чередования крепких пород, выраженные в процентном отношении к глубине ведения очистных работ, путем 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 полных угольных пластов, и математическое моделирование (например метод конечных элементов), которые позволяют достичь высокой точности [2]. При определении величины сдвижения земной поверхности математическим методом создаются расчетные схемы, которые учитывают слоистость, чередование слабых, крепких слоев 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 определен путем сравнения максимальных значений, которые получены тремя методами: нивелированием железной дороги, моделированием методом конечных элементов и вычислением по методике «Правил ...». [1].

Первый метод: проводилась нивелировка железной дороги, которая расположена перпендикулярно подвиганию лавы № 352 пласта i_3 в горно-геологических условиях шахты № 5 ш/у «Ворошиловское» ПО «Ровенькиантрацит» в 1999–2000 гг. 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 расчетные схемы: первая — максимально учитывает фактические горно-геологические и горнотехнические условия подрабатываемой толщи, в которой содержание крепких пород составляет 29 %, с учетом угольных пластов и прослоек; вторая — породные слои заменены на крепкие породы (песчаники и известняки — 100 %); и третья — породные слои заменены на аргиллиты (при полном отсутствии крепких пород — 0 %).

Процесс оседания земной поверхности моделировался с учетом 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 объема разрушенных и обрушенных пород путем подстановки на место пошагово вынутых элементов новых элементов с прочностными свойствами, соответствующими обрушенным породам [4]. Расчетная модель имеет размеры 3466 м по простиранию и 728 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 127332 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. Для моделирования изменения свойств обрушенных во времени пород использован процессор «МОНТАЖ».

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

Пласт i_3 сложного строения, вынимаемая мощность в среднем составляет 1,0 м, угол падения на выемочном участке изменяется от 2° до 4°. Глубина расположения лавы — 500 м. Выемка антрацита проводилась механизированным комплексом КМК-97. Средняя скорость подвигания очистного забоя 30 м/мес.

Выкопировка с плана исследуемого участка представлена на рисунке 1. Модели составлялись вдоль отработки лавы № 352, полу-

ченные оседания отображены на рисунке 2. Железная дорога пересекает эту лаву практически перпендикулярно. Для подтверждения правильности моделей были сравнены оседания, полученные на первой модели, с фактическими в месте пересечения с железной дорогой (рис. 3), максимальное отклонение составляет от 3 до 6 %. Соответственно, данные, полученные в результате моделирования первой модели (29 % крепких пород), в дальнейшем можно использовать как фактические. Расчетные максимальные значения превышают фактические не более чем в 0,5 раза.

Результаты максимальных оседаний земной поверхности, полученные разными методами, представлены в таблице 2.

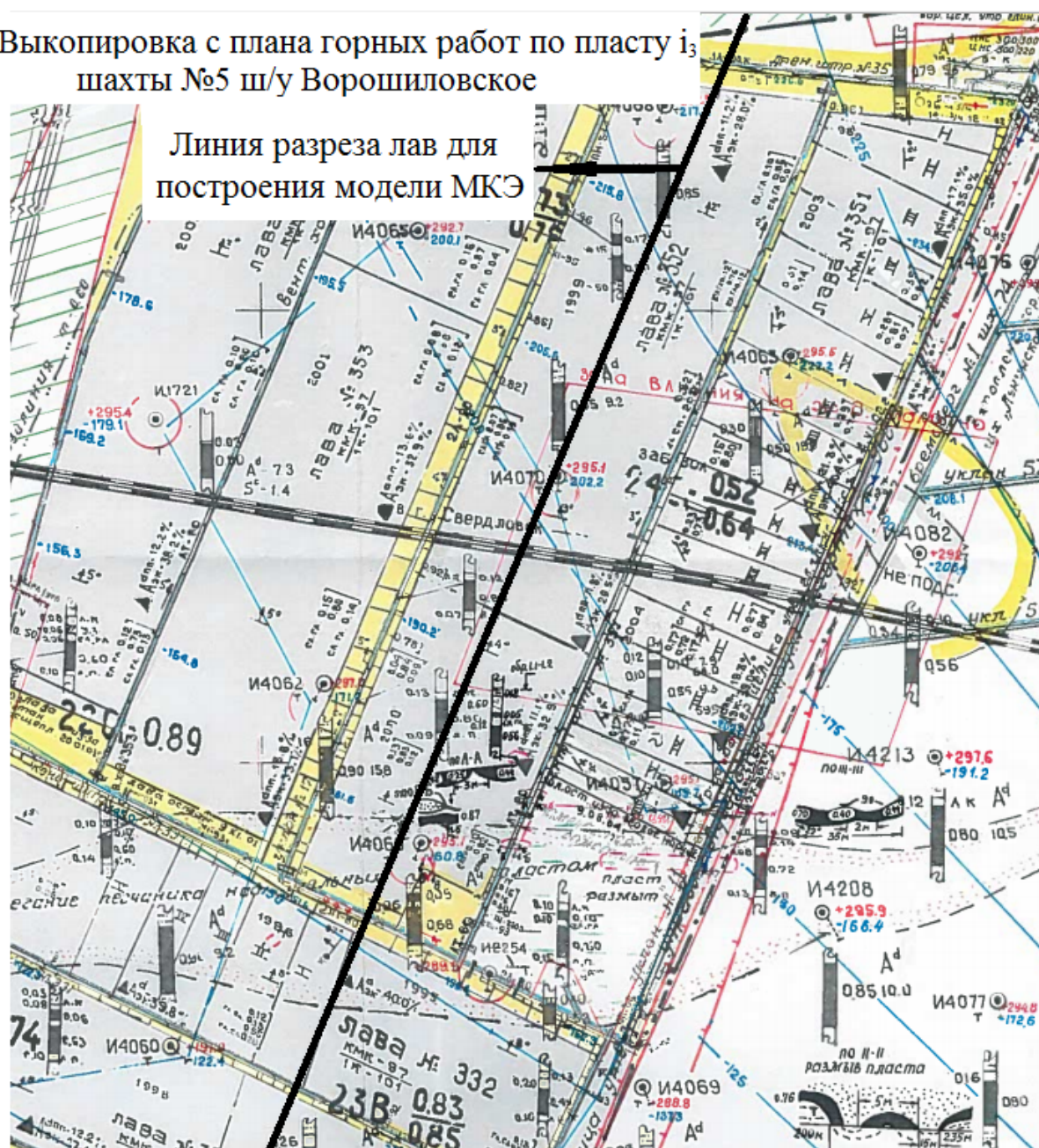
Таблица 1
Физико-механические характеристики угля и вмещающих его пород

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

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 песчаника)		
			0 %	29 %	100 %
0,96	128	259	130	125	92
1,6	205	345	250	210	180
1,68	245	351	320	239	198
1,77	281	351	345	278	215
2,0	330	351	378	326	240

Выкопировка с плана горных работ по пласту i_3 шахты №5 ш/у Ворошиловское



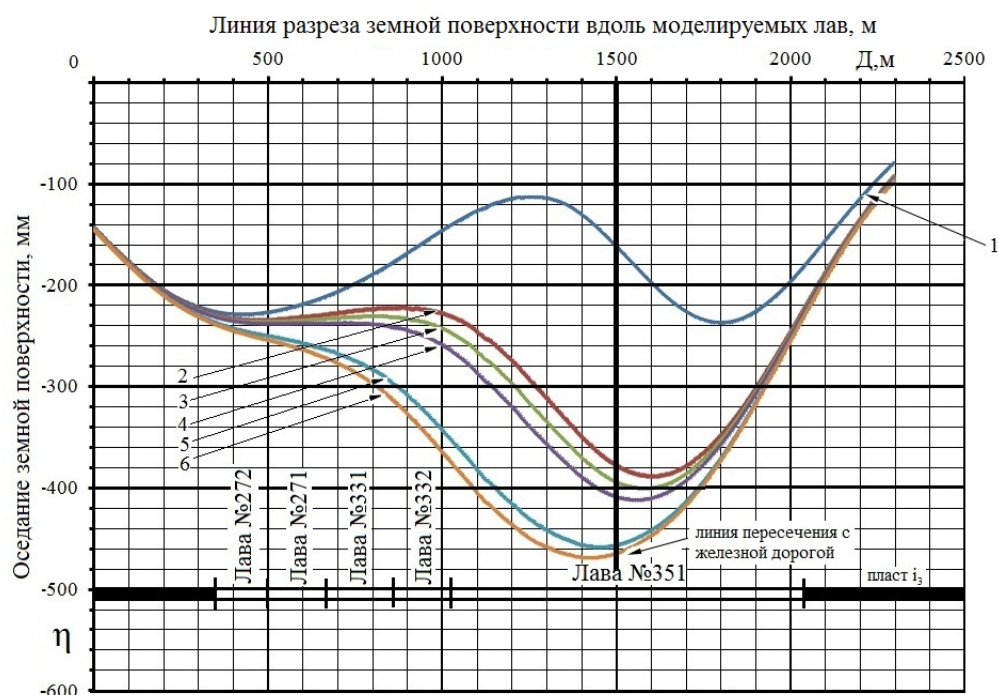


Рисунок 2 Оседания земной поверхности, полученные на первой модели (1, 2, 3, 4, 5, 6 — оседания земной поверхности при отработке лавы № 352 соответственно 480 м, 810 м, 840 м, 870 м, 990 м и 1020 м)

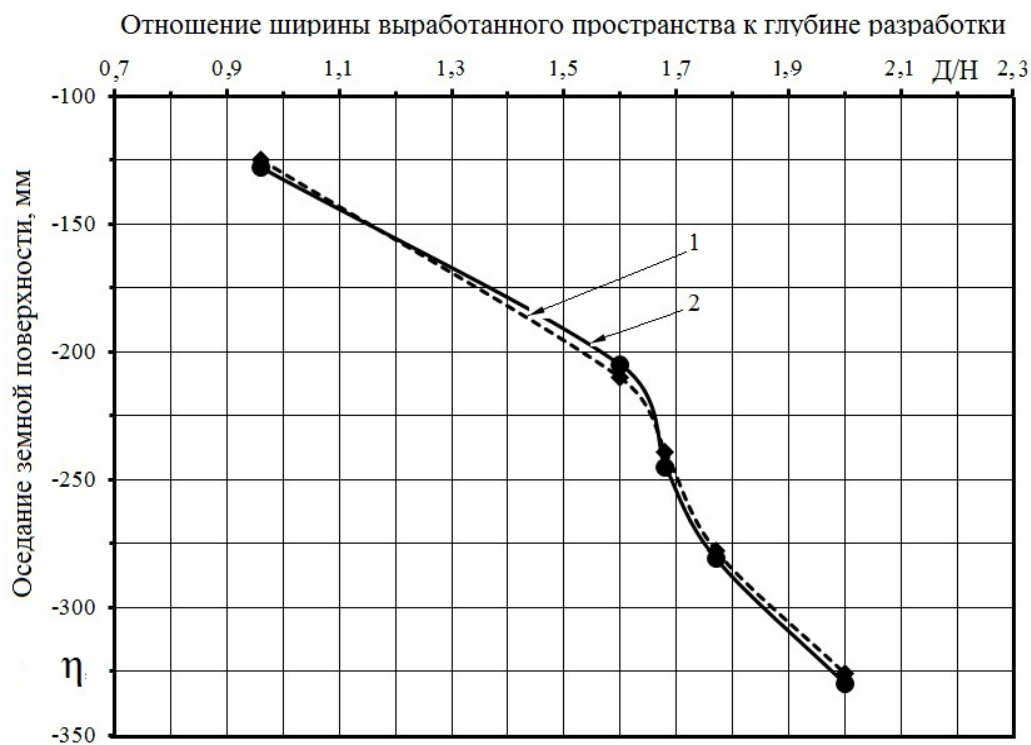


Рисунок 3 Оседание в месте пересечения железной дорогой (1 — оседания, полученные на модели, 2 — фактические оседания)

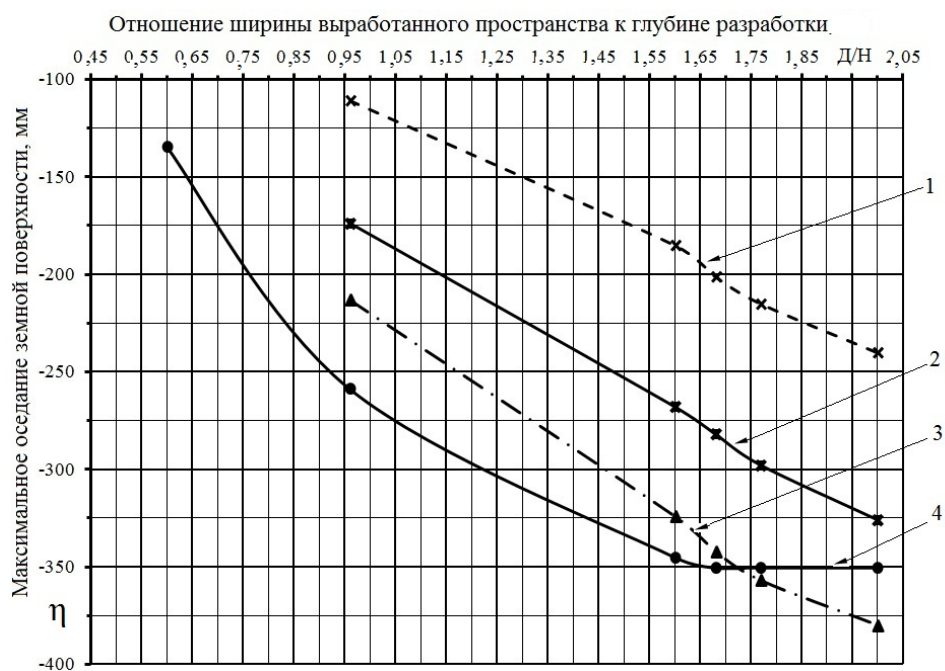


Рисунок 4 Зависимость максимальных оседаний земной поверхности от соотношения ширины выработанного пространства D к глубине разработки H угольного пласта (1, 2, 3 — зависимости максимальных оседаний от D/H , полученных при математическом моделировании, соответственно при содержании крепких пород в 100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

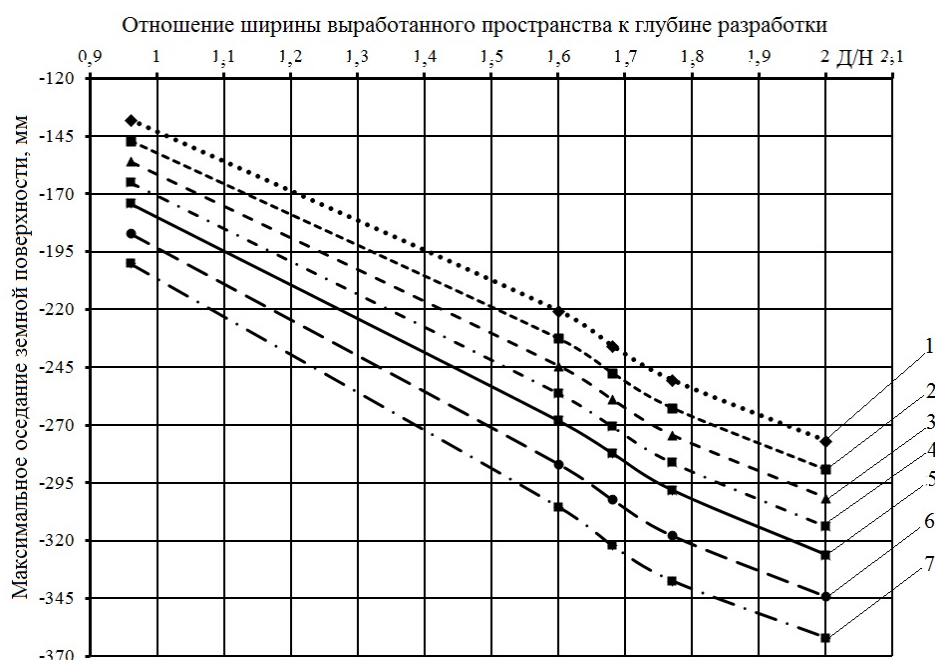


Рисунок 5 Зависимости максимальных оседаний земной поверхности от соотношения ширины выработанного пространства D к глубине H при разном содержании крепких пород в подработанной толще (1 — 70 %; 2 — 60 %; 3 — 50 %; 4 — 40 %; 5 — 29 %; 6 — 20 %; 7 — 10 %)

Таблица 3

Поправочный коэффициент в максимальные оседания, вычисленные по нормативной методике, при различном процентном содержании песчаника в подработанной толще

Д/Н	Содержание крепких пород в земной толще, %						
	70	60	50	40	30	20	10
0,96	1,88	1,76	1,66	1,57	1,49	1,38	1,29
1,6	1,56	1,45	1,41	1,35	1,29	1,20	1,13
1,68	1,49	1,42	1,35	1,30	1,24	1,16	1,09
1,77	1,40	1,34	1,28	1,22	1,18	1,10	1,04
2,0	1,27	1,21	1,16	1,12	1,08	1,02	0,97
Среднее знач.	1,52	1,44	1,37	1,31	1,25	1,17	1,10

Выводы.

При прогнозировании сдвижений земной поверхности необходимо учитывать все крепкие слои пород и их чередование, от отрабатываемого пласта до поверхности.

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

позволяют учесть слои крепких пород, на примере разработки угольного пласта i_3 в условиях бывшей шахты № 5 ш/у «Ворошиловское» ПО «Ровенькиантрацит».

Скорректированное максимальное оседание позволит повысить точность вычисления остальных параметров сдвижений и деформаций в точках главных сечений мульд по «Правилам ...» [1].

Библиографический список

1. ГСТУ 101.00159226.001 Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом [Текст] : Мінпаливноенерго України. — Київ, 2004. — 127 с. — (Галузевий стандарт України).
2. Аверин, Г. А. Прогнозирование максимальных оседаний земной поверхности при различном содержании крепких породных слоев подработанного массива [Текст] / Г. А. Аверин, В. Г. Ларченко, Е. Г. Корецкая, О. Г. Доценко // Уголь Украины. — Киев, 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. — Киев, 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. — Киев, 2010. — № 4. — С. 38–40.

© Аверин Г. А.
 © Клишин Н. К.
 © Смекалин Е. С.
 © Корецкая Е. Г.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А., инженером ш/у «Ровеньковское» Краснянским А. Б.

Статья поступила в редакцию 11.01.18.

к.т.н. Аверін Г. О., д.т.н. Клішин М. К., к.т.н. Смекалін Є. С., Корецька О. Г. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, balgala@ukr.net)

ВПЛИВ МІЦНИХ ПОРІД НА МАКСИМАЛЬНІ ОСІДАННЯ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В УМОВАХ ШАХТИ № 5 Ш/У «ВОРОШИЛОВСЬКЕ»

Наведено результати дослідження максимальних осідань земної поверхні з урахуванням чергування міцних порід, які виражені 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 вміст, міцні породні шари.

PhD Averin G. A., Doctor of Tech. Sc. Klischin N. K., PhD Smekalin E. S., Koretskaia E. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

HARD ROCKS INFLUENCE ON MAXIMUM EARTH CRUST SUBSIDENCE IN THE CONDITIONS OF MINE № 5 «VOROSHILOVSKOE»

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 field observations for the undermined railway.

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