

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ШАХТЫ им. ВОЛОДАРСКОГО

*Приведены результаты исследования максимальных оседаний земной поверхности с учетом 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.) только косвенно ( $q_0$  — относительная величина максимального оседания), залегающих в подрабатываемой толще. 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: метод конечных элементов), которые позволяют достичь высокой точности [2]. При определении величин сдвижения земной поверхности математическим методом создаются расчетные схемы, которые учитывают слоистость, чередование слабых, крепких слоев и прослоек, существенно влияющих на параметры процесса сдвижения [3].

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

Учет 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 охраны ...» [1].

Первый метод: проводилась нивелировка железной дороги, которая расположена параллельно линии лавы № 62 пласта  $h_8$  в горно-геологических условиях шахты им. «Володарского» ПО Свердловантрацит в 1983–1984 годах. Расстояние между реперами составляло 100 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 35 %, с учетом угольных пластов и прослоек; вторая — породные слои заменены на крепкие породы (песчаники и известняки — 100 %); и третья — 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, соответствующим обрушенным породам [4]. Расчетная 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 1,4 м., угол падения на выемочном участке изменяется от  $16^\circ$  до  $17^\circ$ . Глубина расположения лавы — 872 м. Выемка антрацита проводилась механизированным комплексом КМ-87УД. Средняя скорость подвигания очистного забоя 30 м/мес.

Выкопировка с плана исследуемого участка представлена на рисунке 1. Модели составлялись вдоль отработки лавы № 62, полученные оседания отображены на рисунке 2. Железная дорога пересекает эту лаву практически перпендикулярно. Для подтверждения правильности моделей были сопоставлены оседания, полученные на первой модели, с фактическими в месте пересечения с железной дорогой (рис. 3), максимальное отклонение составляет от 1 до 11 %. Соответственно данные, полученные в результате моделирования первой модели (35 % крепких пород), в дальнейшем можно использовать как фактические. Расчетные максимальные значения превышают фактические не более чем на 13 %.

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

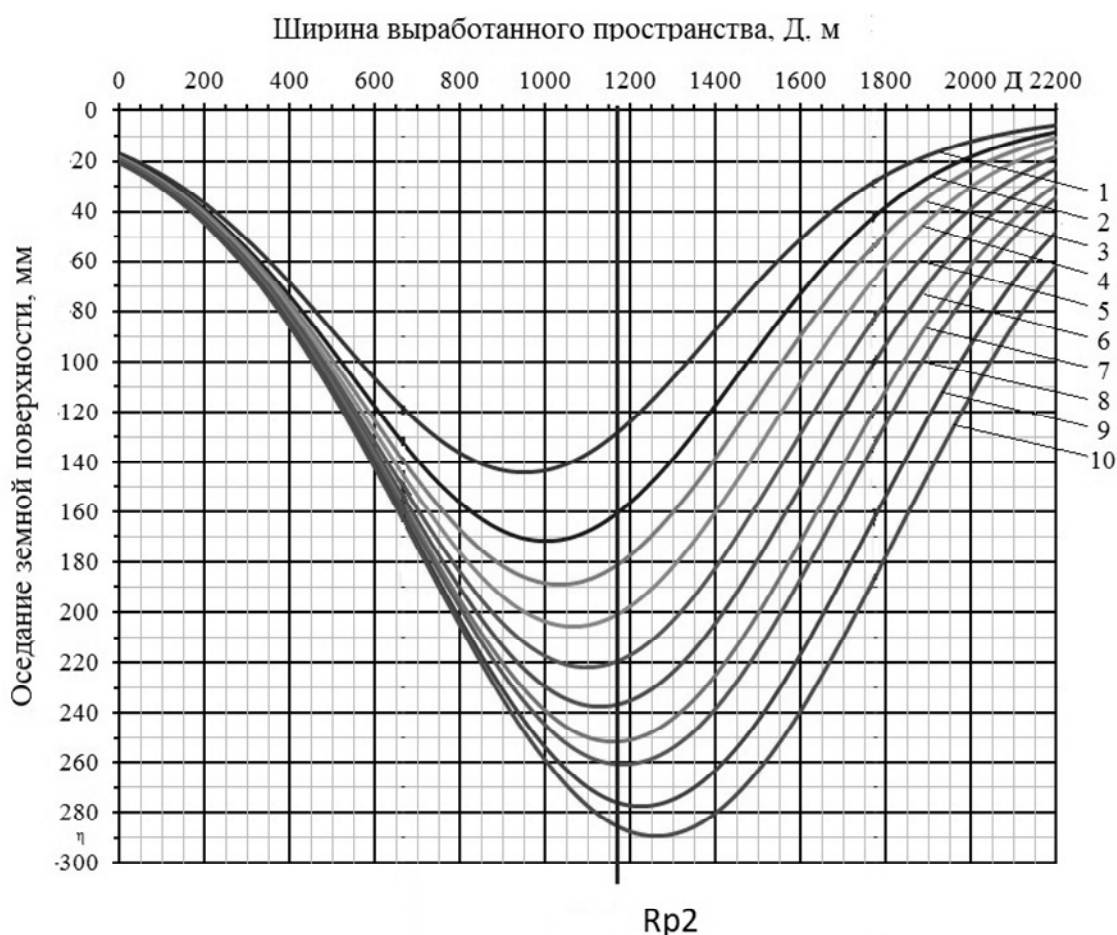


Рисунок 1 — Выкопировка с плана горных работ пласта  $h_8$  шахты им. Володарского

Путем интерполяции зависимостей максимальных оседаний земной поверхности от отношения ширины выработанного пространства к глубине разработки, по данным моделей, содержащих 0 %, 35 % и 100 % крепких пород в подрабатываемой толще, получены зависимости максимальных оседаний при других процентных содержаниях крепких пород, представленных на рисунке 2.

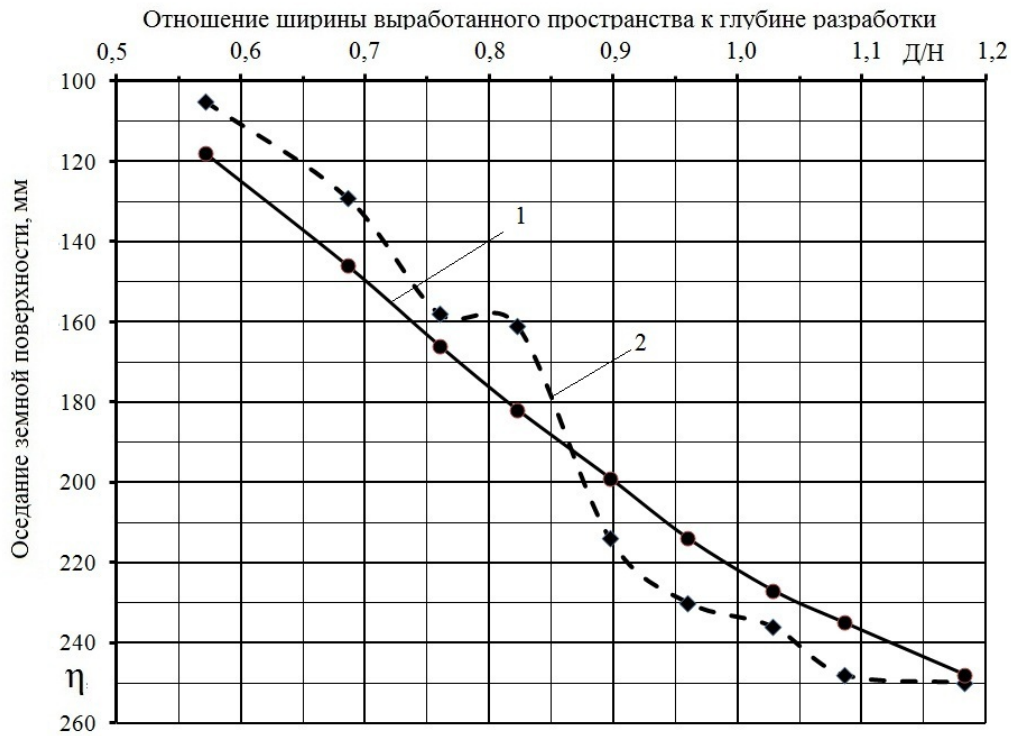
Таблица 2 — Максимальные оседания земной поверхности, полученные различными методами

| Отношение ширины выработанного пространства $D$ к глубине разработки $H$ | Максимальные оседания, мм |             |   |      |       |
|--|---------------------------|-------------|---|------|-------|
|  | Фактические               | Нормативные | Полученные на моделях, при содержании песчаника |      |       |
|  |                           |             | 0 %   | 35 % | 100 % |
| 0,6  | 105                       | 114         | 147   | 118  | 89    |
| 0,7  | 129                       | 137         | 174   | 146  | 106   |
| 0,8  | 158                       | 151         | 191   | 166  | 118   |
| 0,9  | 214                       | 179         | 224   | 199  | 140   |
| 1,0  | 236                       | 205         | 254   | 227  | 161   |
| 1,1  | 248                       | 216         | 264   | 235  | 168   |
| 1,2  | 250                       | 236         | 281   | 248  | 181   |



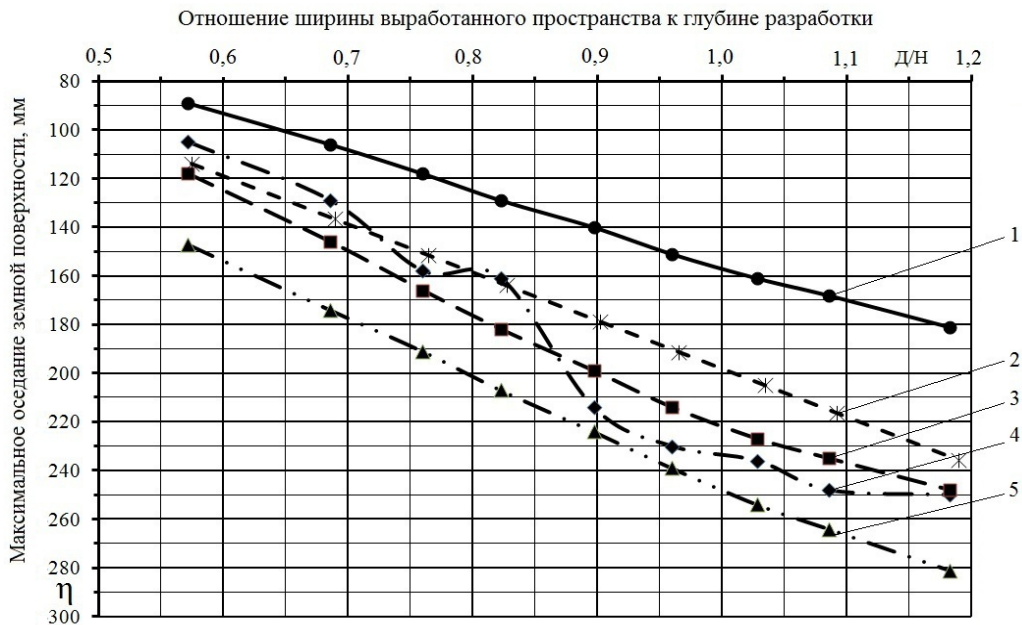
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 — оседания земной поверхности при отработке лавы № 62 соответственно 500 м, 600 м, 665 м, 720 м, 785 м, 840 м, 900 м, 950 м, 1035 м и лава остановлена;  $Rp2$  — репер, который находится в месте пересечения сечения мульды с железной дорогой

Рисунок 2 — Оседания земной поверхности, полученные на первой модели



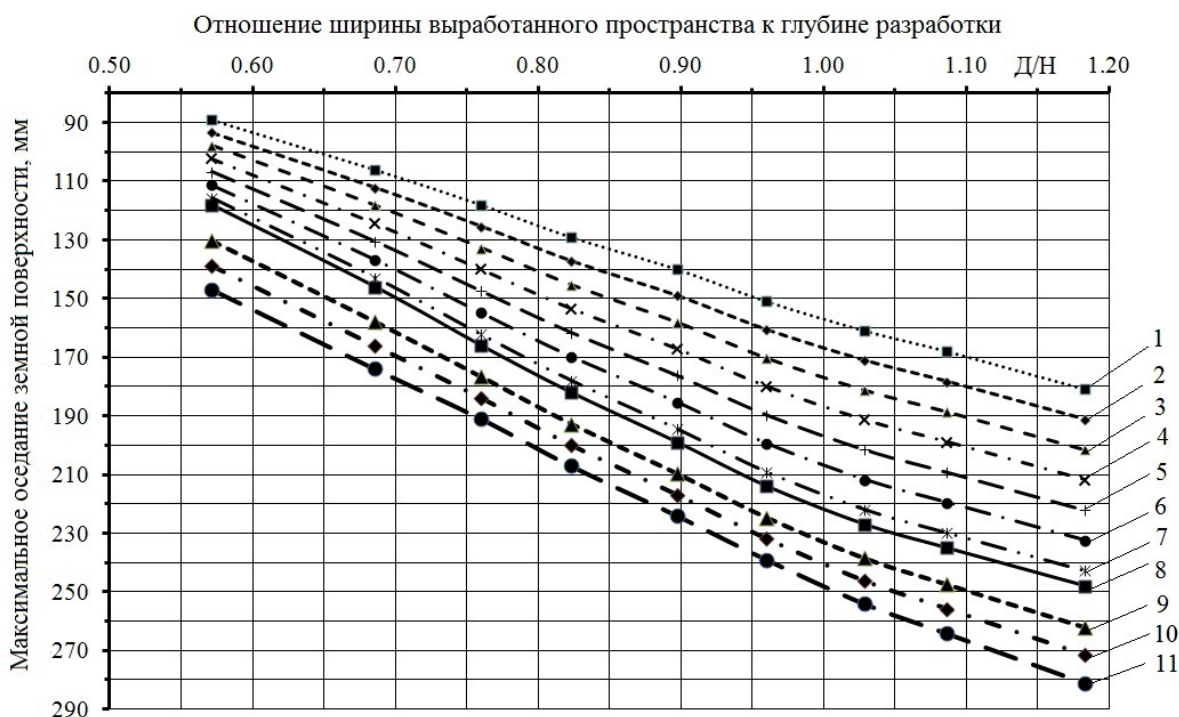
1 — оседания, полученные на модели; 2 — фактические оседания

Рисунок 3 — Оседание в месте пересечения сечения мульды с железной дорогой



1, 2, 5 — зависимости оседаний от Д/Н, полученных при математическом моделировании, соответственно при содержании крепких пород в 100 %, 35 % и 0 %; 3 — зависимость оседаний от Д/Н, вычисленные по методике «Правил охраны ...»; 4 — зависимость оседаний от Д/Н, полученная инструментальными наблюдениями за сдвижением земной поверхности на участке подрабатываемой железной дорогой, выполненной маркшейдерской службой шахты

Рисунок 4 — Зависимость максимальных оседаний земной поверхности от соотношения ширины выработанного пространства Д к глубине разработки Н угольного пласта в месте пересечения сечения мульды с железной дорогой



1 — 100 %; 2 — 90 %; 3 — 80 %; 4 — 70 %; 5 — 60 %; 6 — 50 %; 7 — 40 %; 8 — 35 %; 9 — 20 %; 10 — 10 %; 11 — 0 %

Рисунок 5 — Зависимости максимальных оседаний земной поверхности от соотношения ширины выработанного пространства  $D$  к глубине  $H$  при разном содержании крепких пород в подработанной толще

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].

Таблица 3 — Поправочный коэффициент в максимальные оседания, вычисленные по нормативной методике, при различном процентном содержании песчаника в подработанной толще

| D/H | Содержание крепких пород в земной толще, % |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-----|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|     | 0 %  | 10 % | 20 % | 35 % | 40 % | 50 % | 60 % | 70 % | 80 % | 90 % | 100 % |
| 0,6 | 0,77                                       | 0,82 | 0,87 | 0,96 | 0,98 | 1,02 | 1,07 | 1,11 | 1,16 | 1,22 | 1,28  |
| 0,7 | 0,79                                       | 0,82 | 0,86 | 0,94 | 0,96 | 1,00 | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,22 | 1,29  |
| 0,8 | 0,79                                       | 0,82 | 0,86 | 0,91 | 0,93 | 0,98 | 1,03 | 1,08 | 1,14 | 1,21 | 1,28  |
| 0,9 | 0,80                                       | 0,82 | 0,85 | 0,90 | 0,92 | 0,96 | 1,01 | 1,07 | 1,13 | 1,20 | 1,28  |
| 1,0 | 0,81                                       | 0,83 | 0,86 | 0,90 | 0,92 | 0,97 | 1,02 | 1,07 | 1,13 | 1,20 | 1,27  |
| 1,1 | 0,82                                       | 0,85 | 0,87 | 0,92 | 0,94 | 0,99 | 1,03 | 1,09 | 1,15 | 1,21 | 1,29  |
| 1,2 | 0,84                                       | 0,87 | 0,90 | 0,95 | 0,97 | 1,01 | 1,06 | 1,11 | 1,17 | 1,23 | 1,30  |

**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 «Правилами подработки...» [1] и математического моделирования, получены поправочные коэффициенты, которые позволяют учесть слои крепких пород, на примере разработки угольного пласта  $h_8$  в условиях бывшей шахты им. Володарского ПО «Свердловантрацит».

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

### Список литературы

1. ГСТУ 101.00159226.001–2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. — Введ. 2004-01-01. — Мінпаливноенерго України. — К., 2004. — 127 с.
2. Аверин Г. А. Прогнозирование максимальных оседаний земной поверхности при различном содержании крепких породных слоев подработанного массива / 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 / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины. — 2010. — № 10. — С. 34–35.
4. Аверин Г. А. Механические характеристики пород кровли / Г. А. Аверин, П. Н. Кирьязов, О. Г. Доценко // Уголь Украины, 2010. — № 4. — С. 38–40.

© Аверин Г. А.

© Корецкая Е. Г.

**PhD Averin G. A., Ass. Koretskaya E. G. (DonSTU, Alchevsk, LPR)**

#### **MODELING SUBSIDENCE SURFACE IN THE MINE TO them. VOLODARSKOGO**

*The results of a study of the maximum subsidence of the earth's surface, taking into account the alternation of hard rocks. The alternation of hard rocks is expressed as a percentage of the depth of treatment. The results obtained by comparing the data modeling and field observations at podrabatke railway.*

**Key words:** *math modeling, finite element method, maximum subsidence of the earth's surface, percentage of strong rock layers.*