

УДК 622.23

О подработке земной поверхности антрацитовыми пластами

Представлены экспериментальные и теоретические исследования по установлению размеров очистных выработок, при которых процессы сдвижения подработанных пород не распространяются до земной поверхности. Получены эмпирические уравнения зависимости максимального оседания земной поверхности от степени развития очистных работ в двух направлениях.

Ключевые слова: выработанное пространство, оседание, мульда сдвижения, пласт, земная поверхность, безопасность объектов.

Контактная информация: lach83@mail.ru

Сдвигание земной поверхности при ведении очистных работ вызывает деформацию расположенных на угленосных территориях различных сооружений и объектов и неблагоприятно на них воздействует. Оседание земной поверхности под влиянием разработок может быть причиной затопления осевших участков земной поверхности грунтовыми, атмосферными и паводковыми водами [1].

Основные виды сдвижений и деформаций, опасных для подрабатываемых сооружений и природных объектов: оседания (вертикальные перемещения земной поверхности); наклоны (разности вертикальных перемещений соседних точек, отнесенные к расстоянию между ними); кривизна (отношение разности наклонов соседних участков к расстоянию между ними); горизонтальные сдвижения (перемещения земной поверхности в горизонтальной плоскости); горизонтальные деформации (отношение разности горизонтальных сдвижений соседних точек к расстоянию между ними).

Наклоны земной поверхности вызывают неустойчивость объектов большой высоты, приводят к недопустимому изменению профиля железнодорожных путей и т. д. Кривизна и горизонтальные деформации земной поверхности могут быть причиной повреждения зданий, сооружений, промышленных комплексов, трубопроводов, горных выработок и других объектов. Для вертикальных шахтных стволов и выработок опасны сжатия или растяжения пород по вертикали [1, 2].

Следовательно, изучение параметров сдвижения горных пород и земной поверхности, а также разработка методов охраны подрабатываемых зданий, сооружений, выработок, природных объектов – актуальная задача горного производства.

Параметры сдвижения земной поверхности в процессе отработки угольных пластов рассчитывают по методике нормативного документа [2]. Согласно этим расчетам устанавливают размеры очистных выработок (выработанных пространств), при которых формируется муль-



Л. А. ЧЕПУРНАЯ,
аспирант
(Донбасский ГТУ)



М. В. ФИЛАТЬЕВ,
канд. техн. наук
(Донбасский ГТУ)



Н. И. АНТОЩЕНКО,
доктор техн. наук
(Донбасский ГТУ)

да сдвижения на земной поверхности.

Не менее важный практический и научный вопрос во время разработки мероприятий по защите объектов и решении экологических задач – определение параметров очистных выработок, при которых процессы сдвижения подработанных пород не будут распространяться до земной поверхности. Возникновение та-

ких ситуаций нормативным документом [2] не рассматривается.

Экспериментальные исследования [3] в условиях выемки антрацитовых пластов показывают, что после отработки нескольких лав плоское дно мульды сдвижения на земной поверхности не образуется, а максимальное оседание не превышает половины мощности разрабатываемого пласта. Это свидетельствует о возможности обеспечить сохранность земной поверхности от влияния очистных работ при отработке антрацитовых пластов одиночными лавами. В настоящее время отсутствуют экспериментальные и теоретические исследования по установлению размеров очистных выработок (выработанных пространств), которые не вызывают оседание земной поверхности и образование мульды сдвижения. Поэтому рассматриваемый вопрос – весьма актуален для горной науки и его детальное изучение необходимо при разработке мероприятий по сокращению или ликвидации негативных последствий для объектов земной поверхности после отработки угольных пластов.

Согласно современным представлениям на процессы сдвижения подработанных пород и земной поверхности влияют мощность вынимаемого пласта m , угол его падения α , размеры выработанного пространства L_1, L_2 , глубина ведения очистных работ H и прочностные свойства вмещающих пород. При отработке угольного пласта в условиях одной шахты все влияющие факторы, кроме L_1 и L_2 , остаются постоянными. Установлено [4], что в таких случаях изменение максимального оседания земной поверхности η_{\max} от линейных размеров выработанного пространства L_1, L_2 описывается зависимостями, близкими к функциональным.

Для изучения изменения максимального оседания земной поверхности используем экспериментальные уравнения, практически функционально описывающие зависимости $\eta_{\max} = f(L_1, L_2)$ в условиях одного шахтного поля. В качестве исходных экспериментальных данных для установления эмпирических зависимостей η_{\max} от горнотехнических факторов при отработке одного шахтопласта использовали результаты наблюдений за оседанием земной поверхности при ведении очистных работ

Шахта, пласт, литературный источник	Условия проведения эксперимента				Эмпирические уравнения	Корреляционное отношение	L_H , м
	Марка угля	Мощность пласта, м	Глубина ведения очистных работ, м	Скорость продвижения очистного забоя, м/мес			
Им. М. В. Фрунзе, h_8 , [5]	А	1,40	900	30–75	$\eta_{\max} = 750[0,57 - \exp(0,003L)]$	0,940	187
Им. Г. Г. Капустина, m_6^H , [6]	Г	2,10	260	46–87	$\eta_{\max} = 1500[0,785 - \exp(0,0075L)]$	0,989	32
«Степная», c_6 , [7]	Г	0,91	106	57	$\eta_{\max} = 1550[0,55 - \exp(0,026L)]$	0,998	23
«Юбилейная», c'_6 (530-я лава), [8]	Г	1,00	150	20	$\eta_{\max} = 1550[0,635 - \exp(0,0128L)]$	0,971	35
«Юбилейная», c'_6 (605-я, 607-я лавы), [9]	Г	0,71	250	49	$\eta_{\max} = 1180[0,6 - \exp(0,0093L)]$	0,973	55
«Степная», c_6 (606-я лава), [9]	Г	1,0–1,10	120	55	$\eta_{\max} = 2450[0,4 - \exp(0,0250L)]$	0,994	37
«Степная», c'_6 (715-я, 713-я лавы), [9]	Г	0,90–1,0	190	–	$\eta_{\max} = 1350[0,48 - \exp(0,0150L)]$	0,970	49
«Степная», c_6 (604-я лава), [9]	Г	0,92	150	–	$\eta_{\max} = 1450[0,62 - \exp(0,0160L)]$	0,991	30
«Першотравнева», c'_4 (302-я, 304-я лавы), [9]	Г	0,63	140	61	$\eta_{\max} = 665[0,8 - \exp(0,0095L)]$	0,997	23
«Юбилейная», c_1 (2-я восточная лава), [9]	Г	0,90–1,0	135	–	$\eta_{\max} = 1210[0,52 - \exp(0,0190L)]$	0,991	34
Шахта № 9 ПО «Скуратовуголь», 76-я лава, [10]	–	2,70	50	21–30	$\eta_{\max} = 3233[0,64 - \exp(0,031L)]$	0,965	14

в шахте им. П. Л. Войкова (пласт k_5^1) [3]: глубина разработки 660–720 м; мощность вынимаемого пласта 0,93–1,07 м; углы падения 6 – 9°; скорость подвигания очистных забоев – не более 2,5 м/сут; управление кровлей – полным обрушением. Профильная линия реперов на земной поверхности была заложена в вертикальной плоскости главного сечения мульды сдвижения параллельно очистным забоям отработываемых лав.

В рассматриваемом случае анализировали изменение η_{\max} по мере последовательной отработки нескольких лав на шахтном поле [3]. Для сопоставления экспериментальных данных, полученных в разных горно-геологических условиях, изучили зависимость в относительных параметрах (рис. 1). Это позволило установить особенности изменения относительного максимального оседания земной поверхности η_{\max}/m от параметров L_1/H и L_2/H , которые определяют степень подработанности земной поверхности.

При установлении вида математической зависимости, адекватно описывающей изменение относительного максимального оседания земной поверхности η_{\max}/m от комплексного параметра $L_1 \cdot L_2/H^2$, учитывалось графическое расположение экспериментальных точек относительно анализируемой кривой и ее соответствие физическому смыслу в интервале изменения параметров. Значение η_{\max}/m не должно превышать единицы в диапазоне изменения $L_1 \cdot L_2/H^2$. Пересечение кривой 1 (см. рис. 1) оси абсцисс ($\eta_{\max}/m = 0$) соответствует значению комплексного параметра $L_1 \cdot L_2/H^2$, при котором процессы сдвижения подработанных пород достигают земной поверхности.

Практически идеально рассмотренным критериям соответствовала экспоненциальная зависимость

$$\eta_{\max}/m = a - b \exp\left[c(L_1 \cdot L_2/H^2)\right], \quad (1)$$

где a , b , c – эмпирические коэффициенты.

Обработка экспериментальных данных [3] методом наименьших квадратов позволила получить экспоненциальное уравнение изменения η_{\max}/m в зависимости от степени развития очистных работ в двух направлениях (L_1/H и L_2/H) для антрацитовых пластов. Применительно к рассматриваемым горно-геологическим условиям уравнение (1) можно представить в виде

$$\eta_{\max}/m = 0,699 - 0,874 \exp\left[-0,842(L_1 \cdot L_2/H^2)\right]. \quad (2)$$

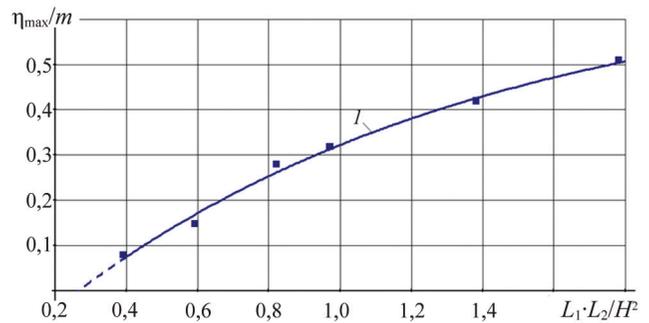


Рис. 1. Зависимость относительного максимального оседания земной поверхности η_{\max}/m от комплексного параметра $L_1 \cdot L_2/H^2$: 1 – теоретическая экспоненциальная зависимость; ■ – экспериментальные данные согласно данным [3].

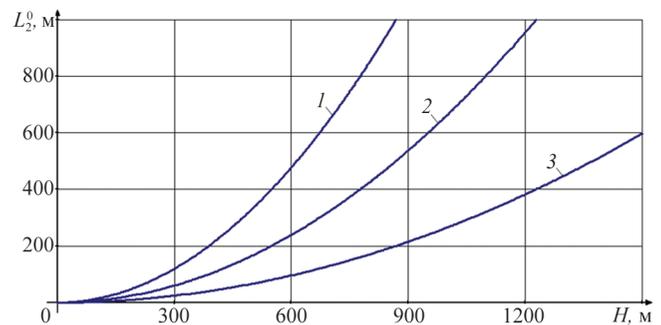


Рис. 2. Соотношения размеров очистной выработки L_2^0 и глубины ведения горных работ H , при которых процессы сдвижения подработанных пород достигают земной поверхности: 1, 2 и 3 – зависимости для антрацитовых пластов при L_1 равном 200, 400 и 1000 м.

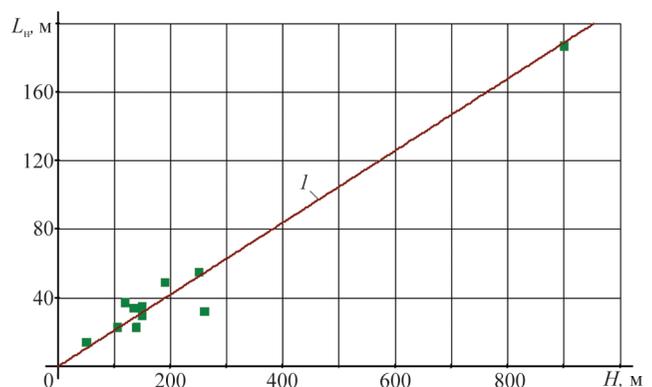


Рис. 3. Зависимость начального размера выработанного пространства L_n от глубины ведения горных работ H при достижении процессами сдвижения подработанных пород земной поверхности: 1 – теоретическая линейная зависимость $L_n = 0,21H$; ■ – расчетные значения размера выработанного пространства, при котором начинается сдвижение земной поверхности согласно трудам [5–10].

Эмпирическая зависимость (2) характеризуется высоким корреляционным отношением (0,996). Надежность полученных результатов подтверждается критерием Фишера при уровне значимости 0,95. Относительная ошибка аппроксимации составила 1,6 %.

Из уравнения (1) при $\eta_{\max}/m = 0$ и $L_2 = L_2^0$ следует, что

$$L_2^0 = [\ln(a/b)H^2]/(cL_1), \quad (3)$$

где L_2^0 – размер очистной выработки, при котором процессы сдвижения подработанных пород распространяются до земной поверхности.

Параметр $\ln(a/b)/c$ – постоянная величина для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий. Задавая произвольные значения L_1 и H , по уравнению (3) можно найти расчетный линейный размер L_2^0 , при котором сдвижение пород достигает земной поверхности. Если расчетный параметр очистной выработки L_2^0 больше ее фактического размера, то процессы сдвижения подработанных пород не будут распространяться до земной поверхности.

На основании статистической обработки экспериментальных данных [3] определили численные значения. Используя эмпирические коэффициенты $a = 0,699$, $b = 0,874$ и $c = -0,842$ уравнения (2), согласно уравнению (3) определили семейство кривых зависимости $L_2^0 = f(H)$ при разных значениях L_1 (рис. 2). Они позволяют при отработке антрацитовых пластов на глубине H устанавливать сочетания размеров L_1 , L_2 очистных выработок (выработанных пространств), которые обеспечивают безопасную подработку земной поверхности, в частности, если расчетный размер очистной выработки L_2^0 при заданных значениях L_1 и H больше фактического. В этом случае практически отсутствует стадия интенсивного сдвижения земной поверхности, а ее незначительное оседание возможно только за счет уплотнения подработанных пород.

Полученные результаты не окончательные и требуют уточнения в процессе дальнейших исследований. Прежде всего необходимо установить диапазоны изменения рассматриваемых параметров и возможность их использования для других горно-геологических условий.

Главный влияющий фактор, гарантирующий безопасную подработку земной поверхности, – глубина ведения очистных работ. Подтверждением служат результаты дополнительной обработки экспериментальных данных максимального оседания земной поверхности [5–10] при удалении очистных

забоев от разрезных печей. На основании этих данных установили траектории максимального оседания земной поверхности при удалении очистных забоев от разрезных печей (таблица). Они удовлетворительно описывались экспоненциальным уравнением вида

$$\eta_{\max} = a_1[b_1 - \exp(c_1L)], \quad (4)$$

где a_1 , b_1 , c_1 – эмпирические коэффициенты.

Теснота связи полученных эмпирических уравнений характеризовалась высокими корреляционными отношениями (0,940 – 0,997), что свидетельствует о их близости к функциональным зависимостям. Задав $\eta_{\max} = 0$ и используя уравнение (4), установили начальные размеры выработанного пространства L_H , при которых начиналось сдвижение земной поверхности. При мощности разрабатываемых пластов 0,63 – 2,70 м размеры L_H прямо пропорционально зависели от глубины H ведения очистных работ (рис. 3).

Теснота связи характеризовалась высоким коэффициентом корреляции ($r = 0,982$), что свидетельствует о возможности использования в инженерных расчетах полученной зависимости.

Выводы. При отработке антрацитовых пластов и средней глубине ведения очистных работ 690 м процессы сдвижения подработанных пород достигают земной поверхности при втором размере выработки $L_2^0 = 140$ м. Это указывает на возможность безопасной для земной поверхности отработки при длине лав менее 140 м.

При глубине залегания антрацитовых пластов более 1000 м целесообразна безопасная подработка земной поверхности одиночными лавами длиной 250 м. В этом случае практически отсутствует стадия интенсивного сдвижения, а незначительные оседания земной поверхности возможны только за счет уплотнения подрабатываемых пород.

Для различных горно-геологических условий получена общая прямо пропорциональная зависимость расстояний между очистными забоями и разрезными печами от глубины ведения горных работ, при которых процессы сдвижения подработанных пород распространяются до земной поверхности.

Дальнейшие исследования необходимо сосредоточить на установлении параметров сдвижения земной поверхности при наличии в подработанной толще прочных породных слоев (мостов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ушаков И. Н. Маркшейдерское дело: Учеб. для вузов / [И. Н. Ушаков, Д. А. Казаковский, Г. А. Кротов и др.]: в 2-х ч. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Недра, 1989. – 311 с.
2. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001-2003. – Офіц. вид. – К.: Мінпаливенерго України, 2004, 128 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
3. Борzych А. Ф. Влияние ширины выработанного пространства на активизацию сдвижения угленосного массива / А. Ф. Борzych, Е. П. Горовой // Уголь Украины. – 1999. – № 9. – С. 26–30.
4. Филатьев М. В. Влияние развития очистных работ на максимальное оседание земной поверхности / М. В. Филатьев // Уголь Украины. – 2011. – № 4. – С. 12 – 16.
5. 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.
6. Иофис М. А. Инженерная геомеханика при подземных разработках / М. А. Иофис, А. И. Шмелев. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
7. Ларченко В. Г. Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности / В. Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ. – 1998. – № 4(12). – С. 39 – 41.
8. Назаренко В. О. Развитие осідань земної поверхні при відході лави від розрізної печі / В. О. Назаренко, П. П. Филипченко // Вісник ЖДТУ. – 2012. – № 1 (60). – С. 126 – 129.
9. Назаренко В. А. Закономерности развития максимальных оседаний и наклонов поверхности в мульде сдвижения / В. А. Назаренко, Н. В. Йощенко. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – 91 с.
10. Авершин С. Г. Сдвижение горных пород и земной поверхности в главнейших угольных бассейнах СССР / [С. Г. Авершин, Д. А. Казаковский, М. В. Коротков и др.]. – М.: Углетехиздат, 1958. – 251 с.

ДОНВЕНТИЛЯТОР[®]
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

ВЕНТИЛЯТОРЫ ШАХТНЫЕ

Вентиляторы осевые шахтные местного проветривания ВМЭВО с диапазоном подачи (производительности) 3,6–34 м³/с

Вентиляторы осевые шахтные встречного вращения местного проветривания ВМЭВО-ВВ с диапазоном подачи (производительности) 2–37 м³/с

Вентиляторы осевые шахтные главного проветривания ВО-Д размерного ряда ВО-12...40ДР и ВО-12...40ДН

Вентиляторы центробежные шахтные главного проветривания ВЦ и ВЦД размерного ряда от ВЦ-11 до ВЦД-47,5

ООО «НПО «Донвентилятор»
Украина, 83030, г. Донецк, ул. Тамбовская, 50«Г»
Тел/факс: +38 (062) 387 56 98; 387 56 99;
387 56 70; 387 56 72; 387 56 77
e-mail: donvent@ukr.net
http://www.donvent.com

ISO 9001:2008

ТР

FLX