

УДК 622.23

## Экспериментальное определение углов максимальных оседаний пород, подработанных очистными выработками

Установлена зависимость углов максимального оседания пород и земной поверхности от степени развития очистных работ. Дополнительными влияющими факторами являются углы падения угольных пластов и направление их отработки, а также прочностные свойства вмещающих пород.

**Ключевые слова:** максимальное оседание, угол, земная поверхность, подработка, угольные пласты.

**Контактная информация:** mfilatev@gmail.com

При отработке угольных пластов угол максимального оседания подработанных пород  $\theta$  используется для определения местоположения наиболее характерных точек мульды сдвижения земной поверхности – максимумов оседаний. Согласно нормативным документам [1, 2] этот параметр определяется со стороны падения пласта на вертикальном разрезе по главному сечению мульды вкрест простирания пласта горизонтальной линией и линией, соединяющей середину очистной выработки с точкой максимального оседания при неполной подработке земной поверхности. Академик С. Г. Авершин предполагал, что в подработанном массиве линия максимального оседания не прямолинейна и имеет тенденцию становиться более крутой по мере приближения к земной поверхности [3]. Для упрощения расчетов в настоящее время углы  $\theta$ , в том числе и согласно нормативным документам [1, 2], принимают постоянными для всей подработанной толщи пород.

Считается [1–4], что угол максимального оседания пород в конкретных горно-геологических и горнотехнических условиях зависит только от угла падения разрабатываемого пласта  $\alpha$ . Для отдельных угольных месторождений угол  $\theta$  рассчитывают согласно общему уравнению

$$\theta = 90^\circ - k\alpha, \quad (1)$$

где  $k$  – эмпирический коэффициент, принимается равным от 0 до 1.

Исключение составляют рекомендации для пластов с углями марок Т и А, данные в работе [4]:

$$\theta = 95^\circ - \alpha. \quad (2)$$

Значения граничных углов максимальных оседаний подработанных пород, рекомендуемые в нормативных документах [1, 2] и работах [3, 4], для разных угольных бассейнов находятся в ши-



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



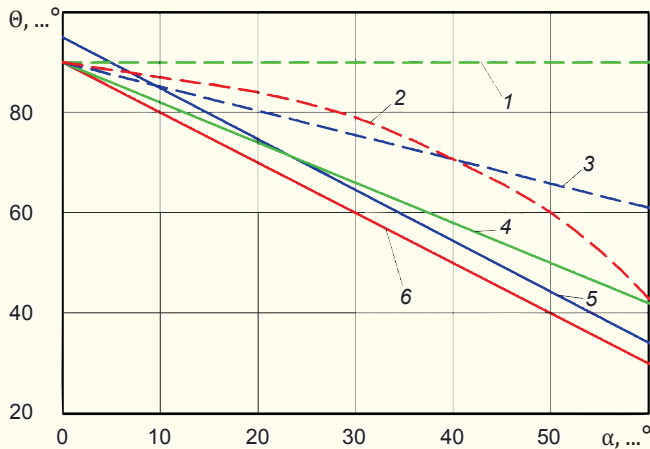
**Н. И. АНТОЩЕНКО,**  
доктор техн. наук  
(Донбасский ГТУ)



**Р. Л. ГАСЮК,**  
магистр  
(Донбасский ГТУ)



**С. В. ПЫЖОВ,**  
аспирант  
(Минэнергоуголь Украины)



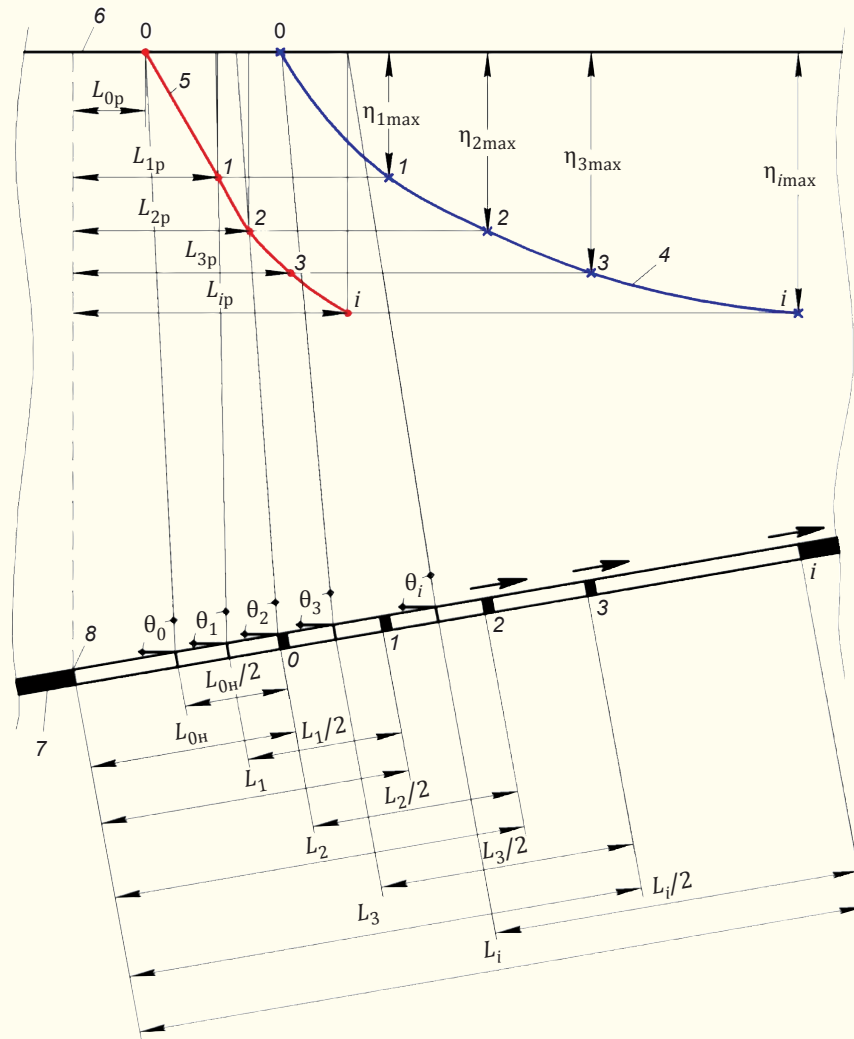
**Рис. 1.** Примеры изменения углов максимального оседания пород  $\theta$  в зависимости от угла падения разрабатываемого пласта  $\alpha$  для разных угольных бассейнов (согласно [1–4]): 1 –  $\theta = 90^\circ$ ; 2 – Карагандинский бассейн [3]; 3 –  $\theta = 90^\circ - 0,5\alpha$ ; 4 –  $\theta = 90^\circ - 0,8\alpha$ ; 5 –  $\theta = 95^\circ - \alpha$ ; 6 –  $\theta = 90^\circ - \alpha$ .

роком диапазоне – от  $30$  до  $95^\circ$  (рис. 1). Это свидетельствует о возможном влиянии других, кроме углов падения пластов, факторов. Поскольку от достоверности определения параметра  $\theta$  в значительной степени зависит эффективность разрабатываемых мероприятий по рациональной защите объектов на земной поверхности от вредного влияния очистных работ, установление дополнительных факторов, влияющих на оседание горных пород, актуально.

Из положений, изложенных в работах [1–4] о понятии «угол полных сдвижений», следует вывод о неизменности этого параметра при отработке угольных пластов по простиранью. Для таких случаев отработки предполагается, что  $\theta = 90^\circ$ . Это предопределяет нахождение максимальных оседаний земной поверхности над серединой выработанного пространства. В нормативных документах [1, 2] рекомендации по определению угла  $\theta$  при отработке угольных пластов по простиранью отсутствуют.

Цель исследования – решение трех задач:

- на основании экспериментальных данных необходимо про-



**Рис. 2.** Схема определения углов максимальных оседаний пород ( $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_i$ ) при развитии очистных работ на выемочном участке по экспериментальным точкам траектории максимального оседания земной поверхности:

$\times, \bullet$  – экспериментальные данные соответственно зависимости  $\eta_{\max} = f(L)$  и кривой траектории максимального оседания точек  $\eta_{\max} = f(L_p)$ ; 0, 1, 2, 3, ..., i – положения очистного забоя и соответствующие им экспериментальные точки максимальных оседаний ( $0, \eta_{1\max}, \eta_{2\max}, \eta_{3\max}, \dots, \eta_{i\max}$ );  $L_{0n}, L_1, L_2, L_3, \dots, L_i$  – расстояния между разрезной печью и удаляющимся очистным забоем, м;  $L_{0n}$  – удаление очистного забоя от разрезной печи, при котором начинается оседание земной поверхности ( $\eta_{\max} = 0$ ); 4 – кривая зависимости  $\eta_{\max} = f(L)$ ;  $L_{0p}, L_{1p}, L_{2p}, L_{3p}, \dots, L_{ip}$  – расстояния проекций максимальных оседаний точек земной поверхности до разрезной печи, м; 5 – экспериментальная траектория точек максимального оседания земной поверхности  $\eta_{\max} = \varphi(L_p)$ ; 6 – земная поверхность; 7 – разрабатываемый пласт; 8 – разрезная печь;  $\rightarrow$  – направление подвигания очистного забоя.

## РАЗРАБОТКА ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Шахта; пласт; источник	Условия проведения наблюдений				Количество обра- ботанных данных	Диапазон изменения экспери- ментальных значений углов $\theta, \dots^{\circ}$	Расчетное значение согласно [1] $\theta_p, \dots^{\circ}$
	Мощность пласта $m, м$	Угол падения пласта $\alpha, \dots^{\circ}$	Глубина разработ- ки $H, м$	Направление отработки			
«Степная»; $c_6$ ; [5]	0,91	4	97–115	По восстанию	17	54–84	87
«Степная»; $c_6$ (604-я лава); [6]	0,92	4	120	То же	10	83–88	87
«Степная»; $c_6$ (606-я лава); [6]	1,05	4	120	»	12	81–89	87
«Юбилейная»; $c'_6$ (530-я лава); [6]	1,00	3	150	По простиранью	11	76–88	-
«Юбилейная»; $c_1$ (2-я восточная лава); [6]	0,95	3	135	По падению	6	80–89	88
Им. П. Л. Войкова; $K'_5$ ; [7]	0,93–1,07	9	660–720	По диагонали к углу падения	7	87–90	-
Шахта Аппалач- ского бассейна (США); [8]	1,65	-	220	По простиранью	16	75–92	-

**Примечание.** Рекомендации по определению  $\theta_p$  при отработке пластов по простиранью и по диагонали к углу падения согласно Правилам [1] отсутствуют.

верить постоянство угла  $\theta$  для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий;

- рассмотреть достоверность положений, принятых для случаев отработки угольных пластов по простиранью;

- установить возможное влияние других факторов, кроме углов падения пластов, на максимальное оседание подработанных пород.

Методикой выполнения работы предусмотрены экспериментальные данные о параметрах мульд сдвижения земной поверхности и соответствующих им размерах очистных выработок (выработанных пространств) [5–8]. На их основании разработана схема определения углов максимальных оседаний пород (рис. 2), которую реализовали в следующем порядке:

- определили пары экспериментальных данных максимальных оседаний земной поверхности  $\eta_{1\max}, \eta_{2\max}, \eta_{3\max}, \dots, \eta_{i\max}$  соответственно с расстояниями между очистным забоем и разрезной печью  $L_1, L_2, L_3, \dots, L_i$  и удалениями проекций максимальных оседаний от разрезной печи  $L_{1p}, L_{2p}, L_{3p}, \dots, L_{ip}$ ;

- обработали пары методом наименьших квадратов, установили для каждого объекта кривые зависимости  $\eta_{\max} = f(L)$  и  $\eta_{\max} = \varphi(L_p)$ . Эти зависимости (кривые 4 и 5 на рис. 2) являются прак-

тически функциональными. Корреляционные отношения находились в диапазоне 0,940–0,998 [9];

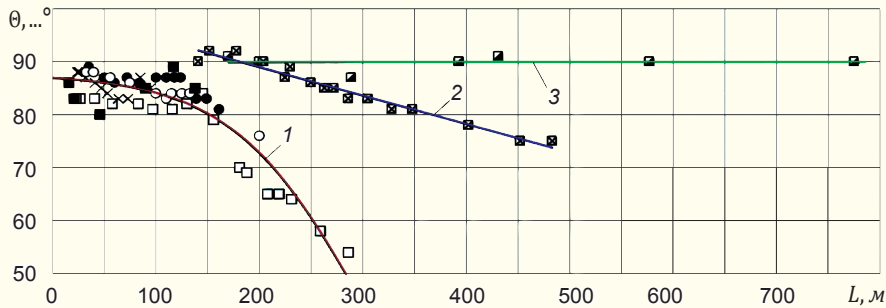
- приняв в полученных зависимостях  $\eta_{\max} = 0$ , определили расстояние  $L_{0н}$  между очистным забоем и разрезной печью, на котором начинается сдвижение земной поверхности [9], и положение точки начала сдвижения земной поверхности относительно разрезной печи (расстояние  $L_{0p}$ );

- на основе данных об удалении очистного забоя от разрезной печи ( $L_{0н}, L_1, L_2, L_3, \dots, L_i$ ) и соответствующих им расположенных точек  $\theta, 1, 2, 3, \dots, i$  траекторий максимального оседания земной поверхности 5 определили экспериментальные значения углов  $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_i$ ;

- сравнили полученные значения углов  $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_i$  между собой и с расчетными согласно нормативному документу [1].

Аналогично были обработаны экспериментальные данные, полученные при выемке пластов по падению и по простиранью. Сведения об условиях проведения экспериментов и результаты определения значений углов максимального оседания подработанных пород приведены в таблице.

На основании выполненного анализа были установлены зависимости экспериментальных значений  $\theta_3$  от степени развития очистных работ



**Рис. 3.** Зависимость экспериментальных значений углов максимального оседания пород  $\theta$  от размеров  $L$  очистных выработок:  $\square$ ,  $\times$ ,  $\bullet$ ,  $\circ$ ,  $\blacksquare$  – экспериментальные данные, полученные для шахт Западного Донбасса соответственно «Степной» [5], 604-я лава [6], 606-я лава [6], «Юбилейной» 530-я лава и 2-я восточная лава [6];  $\boxtimes$  – шахта Аппалачского бассейна [8];  $\blacksquare$  – шахта им. П. Л. Войкова [7]; 1, 2, 3 – осредняющие зависимости соответственно для шахт Западного Донбасса, Аппалачского бассейна и шахты им. П. Л. Войкова;  $R$  и  $r$  – корреляционное отношение и коэффициент корреляции.

(рис. 3). Для шахт Западного Донбасса получена криволинейная зависимость 1. Имеющийся некоторый разброс экспериментальных данных вызван, очевидно, разным направлением отработки угольных пластов. Поэтому необходимо дальнейшее исследование влияния направления отработки пластов на изменение углов максимального оседания пород.

Практически функциональная обратно пропорциональная зависимость ( $r = 0,98$ ) установлена для шахты Аппалачского угольного бассейна (США). При отработке антрацитового пласта шахтой им. П. Л. Войкова угол  $\theta$  изменялся незначительно (в диапазоне  $87\text{--}91^\circ$ ), а среднее его значение составляло  $90^\circ$ . Разный характер зависимости углов максимальных оседаний пород от степени развития очистных работ при выемке антрацитового пласта и пластов с углями марки Г Западного Донбасса, вероятно, связан с прочностными свойствами вмещающих пород. Вмещающие антрацитовые пласты породы наиболее прочные, а породы Западного Донбасса отличаются низкими прочностными свойствами. Зависимости углов максимальных оседаний горных пород от степени развития очистных работ не остаются постоянными, а при отработке пластов с углями средней степени метаморфизма предположительно будут находиться между кривой 1 и прямой 3 (рис. 3).

**Выводы.** При отработке угольных пластов угол максимальных оседаний пород не остается постоянным, поскольку зависит от степени развития очистных работ. Исключение составляют антрацитовые пласты, для которых угол постоянен и равен  $90^\circ$ .

Положения, принятые для определения места максимального оседания пород [1], при отработке пластов по простиранию не подтвердились. Установлено возможное влияние направления отработки пластов и прочностных свойств вмещающих пород.

Наиболее информативный параметр определения места максимального оседания пород – не угол  $\theta$ , а траектория максимального оседания точек земной поверхности. Для ее определения необходимо учитывать угол падения пласта, направление его отработки, прочностные свойства вмещающих пород, а также скорость подвигания очистного забоя [10].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом*: ГСТУ 101.00159226.001–2003. – Вид. офіц. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 128 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
2. *Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях* / Минуглепром СССР. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
3. *Акимов А. Г.* Сдвигение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / [А. Г. Акимов, В. И. Земисев, Н. Н. Кацнельсон и др.]. – М.: Недра, 1970. – 224 с.
4. *Иофис М. А.* Инженерная геомеханика при подземных разработках / М. А. Иофис, А. И. Шмелев. – М.: Недра, 1985. – 248 с.
5. *Ларченко В. Г.* Влияние подземной разработки угольных пластов на состояние земной поверхности / В. Г. Ларченко // Вестник МАНЭБ. – 1998. – № 4 (12). – С. 39–41.
6. *Назаренко В. А.* Закономерности развития максимальных оседаний и наклонов поверхности в мульде сдвижения / В. А. Назаренко, Н. В. Йощенко. – Днепропетровск: НГУ, 2011. – 91 с.
7. *Борзых А. Ф.* Влияние ширины выработанного пространства на активизацию сдвижения угленосного массива / А. Ф. Борзых, Е. П. Горовой // Уголь Украины. – 1999. – № 9. – С. 26–30.
8. *Бабенко Е. В.* Настройка модели для моделирования сейсмических событий техногенной природы / Е. В. Бабенко // Проблеми гірського тиску. – 2009. – № 17. – С. 67–93.
9. *Чепурная Л. А.* Определение условий начала сдвижения земной поверхности при отработке угольных пластов / Л. А. Чепурная, М. В. Филатьев, Н. И. Антощенко // Уголь Украины. – 2014. – № 4. – С. 7–9.
10. *Филатьев М. В.* Особенности формирования траекторий максимального оседания точек земной поверхности при ее подработке угольными пластами / М. В. Филатьев, Н. И. Антощенко, С. В. Пыжов // 36. наук. праць Донбаського ДТУ. – 2015. – Вип. 1 (44). – С. 35–43.