

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом // Отраслевой стандарт. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
2. Инструкция по наблюдениям за сдвижением земной поверхности и подрабатываемыми сооружениями на угольных и сланцевых месторождениях / Мин-во угольн. пром-ти СССР.– М.: Недра, 1989. – 96 с.
3. Батугин С.А. Сдвигения и деформации земной поверхности и горных пород над движущимся забоем // Сб. статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1962. – Сб. 47. – С. 159-199.
4. Петрук Е.Г. Исследование деформаций земной поверхности в мульде сдвижения по времени // Изв. вузов. Горный журнал. – 1969. – № 1. – С. 40-43.
5. Авершин С.Г. Сдвигение горных пород при подземных разработках. – М.: Углетехиздат, 1947. – 245 с.
6. Кратч Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений; Пер. с нем./ Под ред. Р.А. Муллера и И.А. Петухова. – М.: Недра, 1978. – 494 с.
7. Иофис М.А. Научные основы управления деформационными и дегазационными процессами при разработке полезных ископаемых. – М.: Изд. ИПКОН, 1984. – 230 с.
8. Назаренко В.А., Антипенко Г.А. О некоторых терминах и определениях процесса сдвижения земной поверхности // Уголь Украины. – 2001. – № 9. – С. 44-45.
9. Кекух П.К. Поток сдвижения и возможность его геометризации / Тр. Алтайского горн.-мет. НИИ. – Алма-Ата: Изд. АН Каз. ССР, 1962.– Том 12. – С. 93-101.

УДК 622.1:622.834

Н.В. Йощенко, инженер,
ОАО "Днепрогипрошахт",
В.А. Назаренко, профессор, НГУ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ

Наведені результати досліджень початкової стадії формування мульди зрушення на шахтах Західного Донбасу. Встановлена залежність положення і величин максимальних осідань земної поверхні від розміру очисної виробки під час її відходу від розрізної печі та величина відходу лави, при якій зрушення проявляються на поверхні.

THE LAWS OF FORMING THE MAXIMUM SUBSIDENCES A SURFACE ABOVE STOPE

The present results of researches of an original stage of formation of a subsidence trough on mines of Western Donbass. The dependence of the maximal subsidences of a surface from the size of a coal face when it departs from rise gallery is established. The size of an exploited space, from which the displacements are shown on a surface, is determined.

Одной из основных задач маркшейдерской службы горного предприятия является обеспечение безопасной подработки сооружений и природных объектов. Решение этой задачи зависит от объективности прогнозирования влияния горных разработок на подрабатываемые объекты, что, в свою очередь, определяется соответствием принятых исходных параметров условиям разработки месторождения и обеспечением требуемой точности применяемыми расчетными способами определения сдвижений и деформаций земной поверхности.

подавляющее большинство публикаций о сдвижении земной поверхности на угольных шахтах посвящено исследованиям угловых параметров и вели-

чин сдвижений и деформаций в главных сечениях мульды при условии закончившегося процесса сдвижения [1, 2]. В обобщенном виде результаты этих исследований на угольных месторождениях Украины приведены в "Правилах підготовки..." [3].

В мульде сдвижения над движущимся очистным забоем выделяется три области в зависимости от степени развития и характера протекания процесса сдвижения [4]: область формирования мульды сдвижения; область синхронного сдвижения и область затухания процесса.

Наибольший объем исследований сдвижения земной поверхности во времени относится к области синхронного сдвижения [5, 6]. Более того, эти исследования проводились в сечении мульды, совпадающем с направлением движения очистного забоя, что значительно ограничивает использование полученных данных для описания процесса деформирования земной поверхности над действующими очистными горными выработками. Наиболее полную информацию о развитии процесса сдвижения можно было бы получить по результатам исследований в области формирования мульды, но целенаправленно такие исследования практически не проводились. Отдельные публикации по этому вопросу отражают только качественную сторону процесса сдвижения и не дают количественной оценки его параметров.

Область формирования мульды сдвижения охватывает период с момента начала процесса сдвижения земной поверхности до момента, когда максимальное оседание в мульде достигло предела (максимума) и крыло мульды сдвижения со стороны выработанного пространства перестает изменять свою геометрию и начинает совершать плоскопараллельное перемещение совместно с забоем очистной выработки. С этого момента развитие мульды сдвижения переходит в стадию синхронного сдвижения, которая характеризуется постоянством формы мульды и ее размеров. Т.е. параметры мульды по окончании ее формирования являются такими же, как и в области синхронного сдвижения.

Анализ результатов маркшейдерских инструментальных наблюдений за земной поверхностью над очистными горными выработками шахт Западного Донбасса показывает, что процесс сдвижения на стадии формирования мульды сдвижения имеет закономерности, проявляющиеся практически во всех наблюдаемых случаях. Одна из этих закономерностей выражается в зависимости положения точек, имеющих максимальное оседание на момент выполнения инструментальных наблюдений, от текущего размера очистной выработки.

С целью установления этой зависимости нами выполнены соответствующие исследования, которые заключаются в следующем.

На первом этапе выполнен отбор наблюдательных станций, на которых выполнялись маркшейдерские измерения сдвижений земной поверхности в области формирования мульды. В результате для дальнейших исследований отобрано 8 станций, которые были заложены кафедрой маркшейдерии НГУ над горными работами шахт П.О. "Павлоградуголь". Глубины залегания разрабатываемых угольных пластов над разрезной печью в анализируемых усло-

виях изменяются от 110 до 250 м, мощность наносов – от 50 до 80 м. Вынимаемая мощность пластов 0,65-1,10 м; скорость подвигания очистного забоя 30-80 м/мес.; коэффициент, характеризующий степень подработанности земной поверхности изменяется от 1 до 0,65; управление горным давлением – полное обрушение.

Количество серий инструментальных наблюдений на станциях за время, охватывающее период формирования мульды сдвижения, различное и изменяется от 2 до 15.

Второй этап исследований заключается в построении графиков оседаний реперов наблюдательных станций по результатам инструментальных маркшейдерских наблюдений. Особенность этих графиков заключается в том, что на один и тот же график наносятся кривые оседания реперов по всем имеющимся наблюдениям с обязательным фиксированием положения разрезной печи и положений очистного забоя на даты наблюдений. На графике для каждой кривой вертикальных сдвижений (рис. 1) фиксируется точка, имеющая наибольшее оседание η_{mt} и соответствующее ей положение очистного забоя лавы. Положение забоя определяется расстоянием D_t от разрезной печи до забоя на дату наблюдения t . Кроме этого, на разрезе замеряется горизонтальное расстояние L_{mt} от забоя до точки с максимальным оседанием.

Таким образом, для каждой из наблюдательных станций формируется база данных, состоящая из n -го числа пар расстояний D_t и L_{mt} , где n – количество анализируемых серий инструментальных наблюдений на станции. В итоге общая база данных для всех восьми исследуемых наблюдательных станций составила 85 пар расстояний.

Полученные в результате выполненных исследований данные по каждому из проанализированных случаев подработки земной поверхности практически невозможно сопоставить между собой из-за разницы горно-геологических условий. Поэтому на третьем этапе исследований выполнено приведение всех графиков оседания земной поверхности и, соответственно, параметров D_t и L_{mt} к единичному виду. Для этого линейные параметры графиков (длины интервалов между реперами профильных линий, величины подвигания очистных забоев, горизонтальные расстояния от разрезной печи до точек с максимальными оседаниями, вертикальные размеры геологических разрезов) были разделены на величину глубины H отработки угольных пластов. Выполненные преобразования позволили устранить зависимость анализируемых графиков от глубины разработки.

Параметры D_t/H и L_{mt}/H , полученные в результате приведения графиков к единичному виду, сведены в табл. 1.

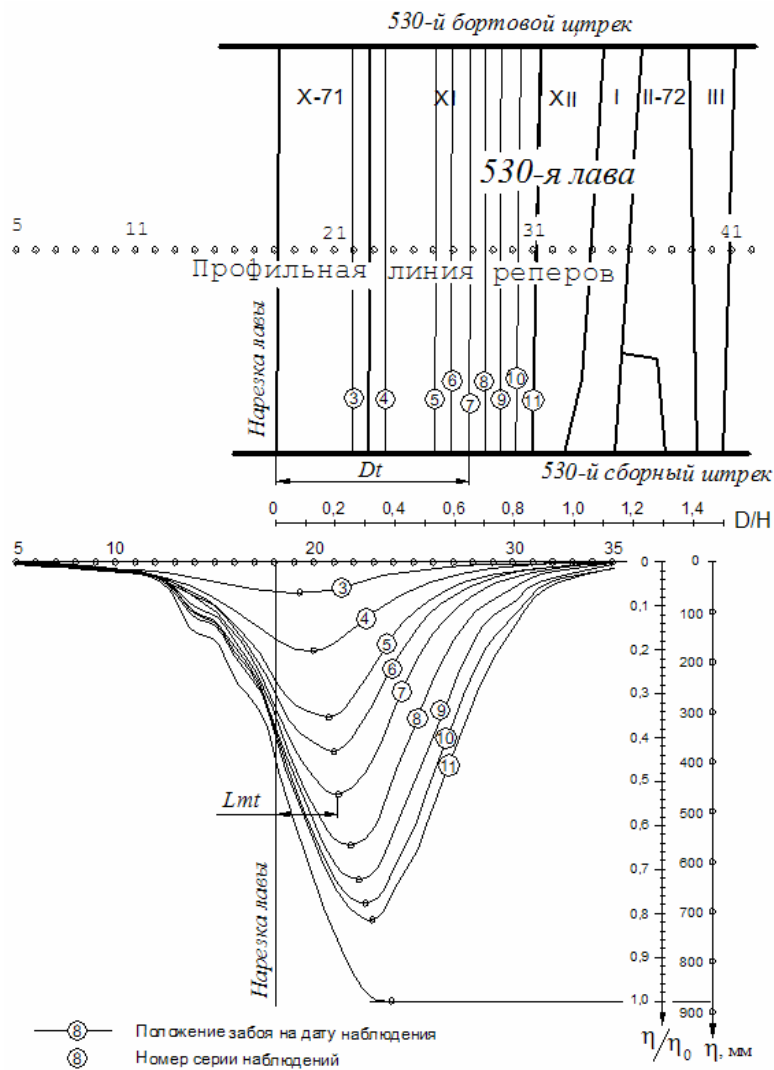


Рис. 1 – План и графики оседания реперов наблюдательной станции №10

Таблица 1 – Приведенные значения D_t/H и L_{mt}/H по наблюдательным станциям

ст. 12-2		ст. 10		ст. 9		ст. 1/2		ст. 8	
D_t/H	L_{mt}/H	D_t/H	L_{mt}/H	D_t/H	L_{mt}/H	D_t/H	L_{mt}/H	D_t/H	L_{mt}/H
0,42	0,17	0,26	0,08	0,18	0,08	0,33	0,17	0,21	0,11
0,5	0,18	0,37	0,12	0,32	0,09	0,67	0,33	0,26	0,12
0,6	0,24	0,53	0,18	0,37	0,1	0,86	0,42	0,3	0,13
0,7	0,29	0,58	0,2	0,45	0,16	1,02	0,45	0,33	0,14
0,82	0,37	0,65	0,21	0,53	0,22	1,34	0,54	0,37	0,17
0,92	0,41	0,71	0,24	0,6	0,26			0,45	0,19
0,98	0,44	0,76	0,28	0,66	0,27			0,52	0,21
1,03	0,46	0,81	0,3	0,73	0,28			0,57	0,25
1,16	0,47	0,86	0,32	0,82	0,32			0,63	0,32
1,24	0,5	0,9	0,35	0,86	0,33			0,74	0,37
1,34	0,52	0,93	0,39	0,88	0,4			0,88	0,43
		1,04	0,42	0,98	0,44			0,98	0,46
		1,13	0,45	1,1	0,48			1,06	0,49
		1,32	0,51	1,16	0,49			1,15	0,52
		1,43	0,55	1,35	0,55				

ст. 12-1		ст. 11		ст. 13		ст. 14	
D_t/H	L_{mt}/H	D_t/H	L_{mt}/H	D_t/H	L_{mt}/H	D_t/H	L_{mt}/H
0,22	0,06	0,05	0	0,23	0,09	0,28	0,11
0,27	0,07	0,18	0,04	0,42	0,14	0,5	0,25
0,34	0,08	0,32	0,1	0,56	0,23		
0,39	0,1	0,48	0,18	0,68	0,29		
0,44	0,12	0,63	0,24	0,83	0,33		
0,53	0,15			0,99	0,36		
0,61	0,2			1,12	0,42		
0,71	0,29			1,23	0,47		
0,79	0,31			1,42	0,52		

График распределения L_{mt}/H от D_t/H (рис. 2) указывает на наличие довольно тесной взаимосвязи между этими параметрами мульды сдвижения. В результате статистической обработки данных табл. 1 получен обобщенный график зависимости L_{mt}/H от D_t/H (рис. 3). При этом среднее квадратическое отклонение экспериментальных данных от усредненных по оси абсцисс составляет $\pm 0,076$, а по оси ординат – $\pm 0,014$, т.е. порядка 5% от максимальных значений.

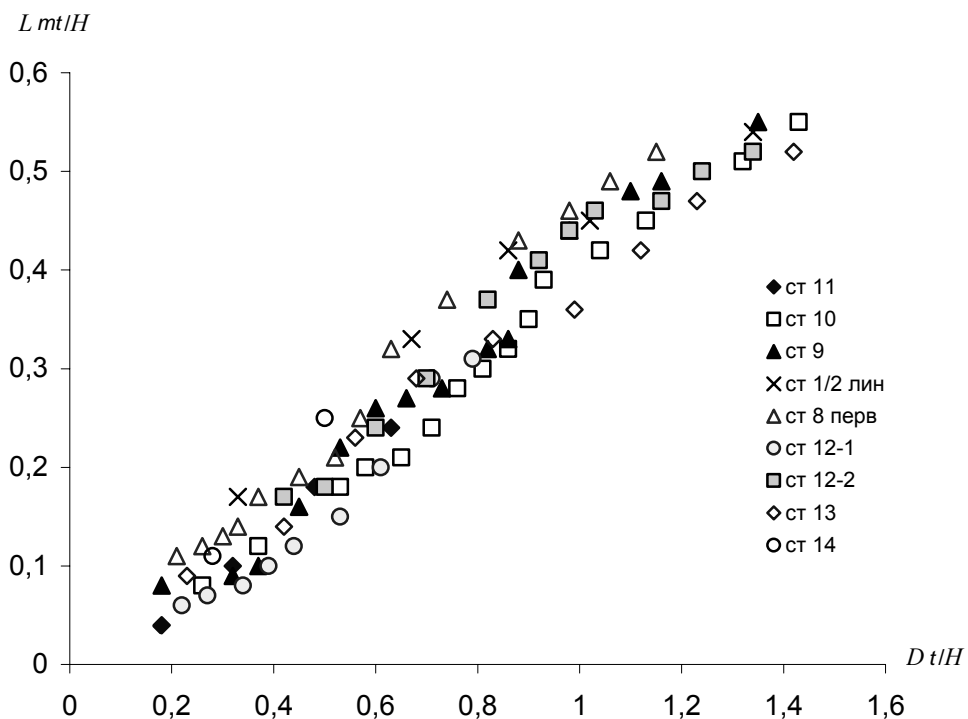


Рис. 2 – Распределение L_{mt}/H от D_t/H по наблюдательным станциям

Из выражения (1) так же следует, что в идеале начало процесса сдвижения на земной поверхности следует ожидать над выработанным пространством на расстоянии $0,04H$ от проекции разрезной печи. Но если учесть, что инструментальными измерениями могут быть зафиксированы вполне определенные

величины сдвижений и деформаций земной поверхности, то реально процесс сдвижения начинается на расстоянии около $0,2H$ от разрезной печи.

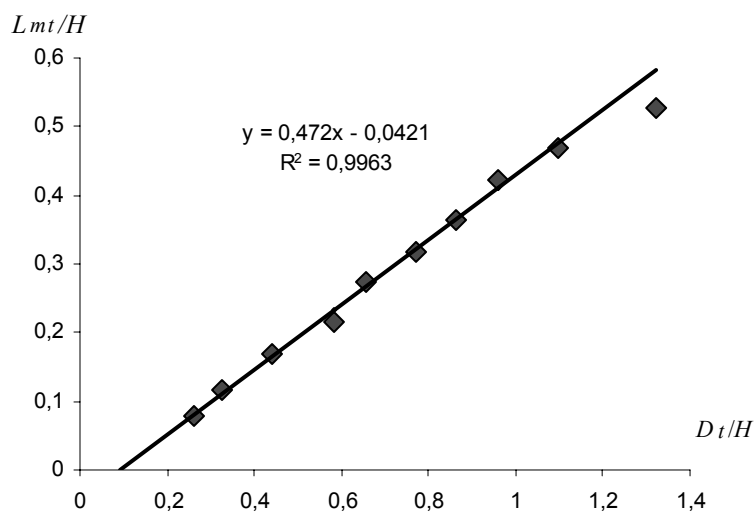


Рис. 3 – Обобщенный график зависимости L_{mt}/H от D_t/H

Аналогично расстояниям D_t и L_{mt} для каждой из наблюдательных станций сформирована база данных, состоящая из 85 пар расстояний D_t и максимальных оседаний η_{mt} (рис. 4).

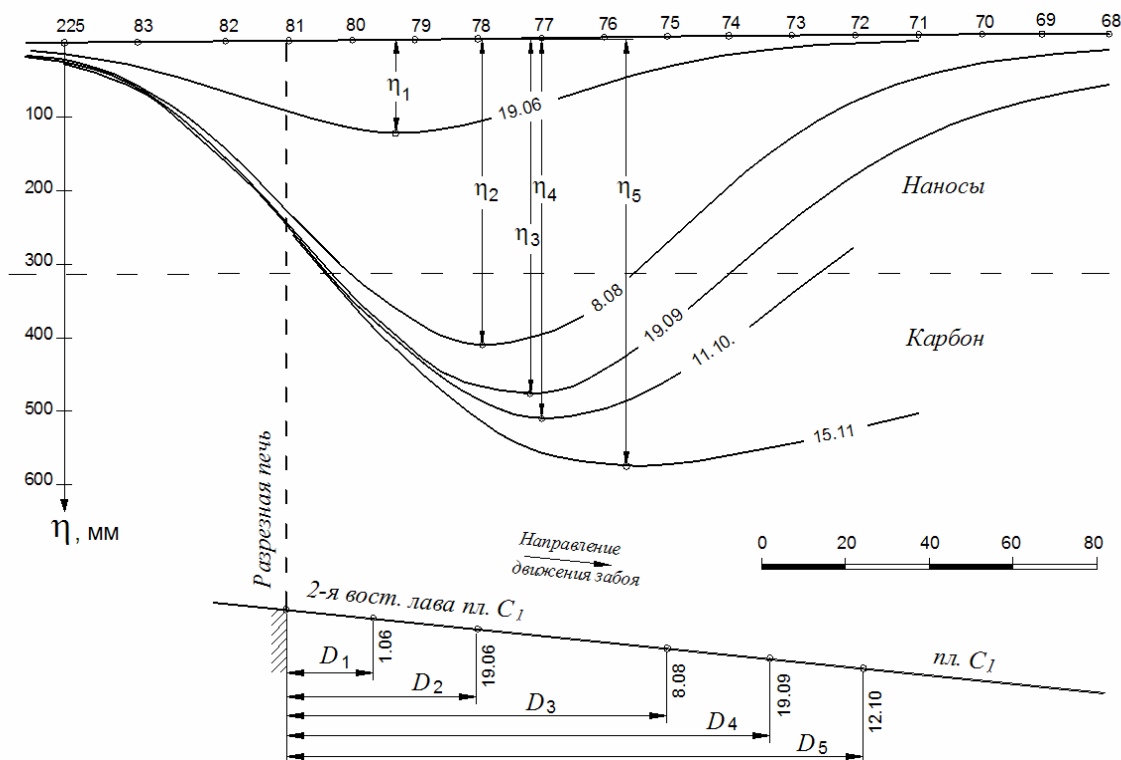


Рис. 4 – Фиксация максимальных оседаний земной поверхности на графиках оседаний реперов наблюдательной станции

Значения максимальных оседаний земной поверхности зависят от многих факторов: глубины отработки пласта, его мощности и угла падения, размеров очистной выработки, физико-механических свойств пород подрабатываемой толщи. Соответственно, полученные в результате наблюдений значения η_{mt} отличаются в зависимости от условий подработки земной поверхности и текущего размера очистной выработки. С целью устранения этих различий или, хотя бы сведения их до возможного минимума, замеренные значения максимальных оседаний η_{mt} земной поверхности были выражены в долях η_m от максимального оседания на момент окончания процесса сдвижения. Такой подход позволяет практически полностью устранить влияние вынимаемой мощности угольного пласта и степени подработанности земной поверхности по направлению вкрест подвигания очистного забоя, которая, в свою очередь, зависит от поперечного размера лавы и глубины разработки.

График распределения η_{mt}/η_m от D_t/H (рис. 5) указывает на наличие довольно тесной взаимосвязи между этими параметрами мульды сдвижения. В результате статистической обработки экспериментальных данных получен обобщенный график зависимости η_{mt}/η_m от D_t/H (рис. 6). При этом среднее квадратическое отклонение экспериментальных данных от усредненных по оси абсцисс составляет $\pm 0,045$, а по оси ординат – $\pm 0,03$, т.е. не более 5% от максимальных значений. Из анализа графиков на рисунках 5 и 6 следует, что на участке $0,2 < D_t/H < 0,7$ распределение имеет прямолинейный вид и начиная со значения $D_t/H = 0,7$ асимптотически приближается к предельному значению $\eta_{mt}/\eta_m = 1$.

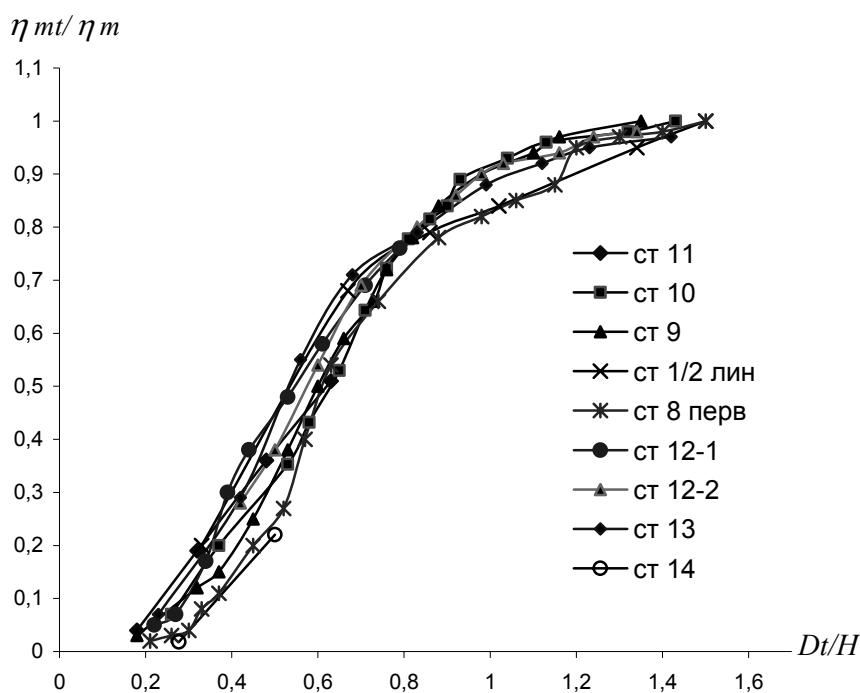


Рис. 5 – Распределение η_{mt}/η_m от D_t/H по наблюдательным станциям

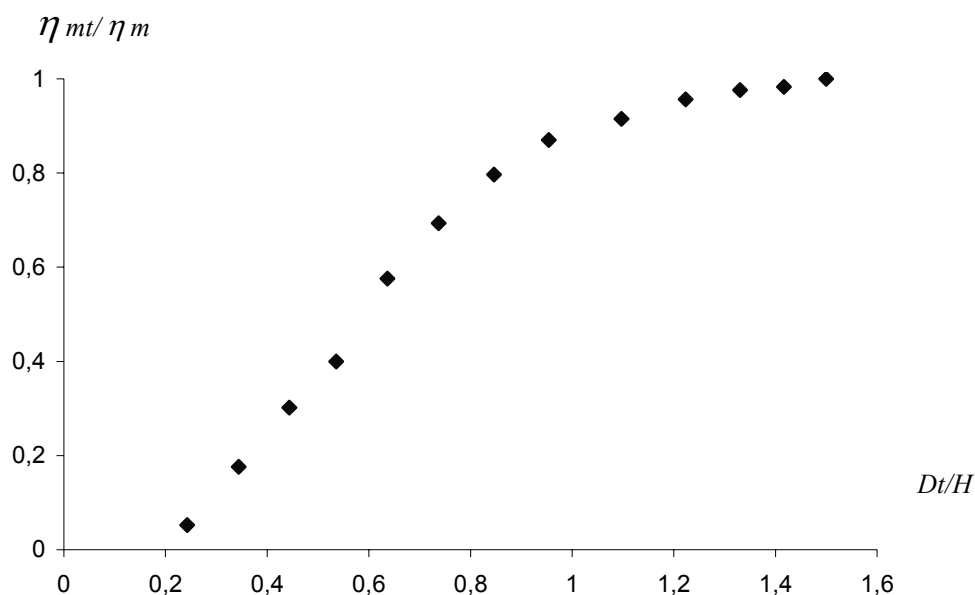


Рис. 6 – Обобщенный график зависимости η_{mt}/η_m от D_t/H

В маркшейдерской практике принято задавать зависимость максимальных оседаний от размера очистной выработки в табличном виде, что показано в работе [1]. Учитывая это, зависимость η_{mt}/η_m от D_t/H представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Зависимость относительных максимальных оседаний от текущего размера очистной выработки для условий Западного Донбасса

η_{mt}/η_m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
D_t/H	0,28	0,36	0,45	0,51	0,58	0,66	0,74	0,85	1,01	1,50

Табличное представление зависимости η_{mt}/η_m от D_t/H удобно для инженерных расчетов, однако с учетом развития ГИС – технологий и математических методов прогнозирования смещений и деформаций горных пород и земной поверхности представляется целесообразным выразить полученную закономерность в аналитическом виде. Для этого применен графоаналитический метод обработки и анализа полученных результатов.

Первоначально выполнено графическое описание распределения η_{mt}/η_m от D_t/H , заключающееся в подборе простых геометрических образов, соответствующих положению точек графика на рис. 6. Часть графика на интервале $0,2 < D_t/H < 0,7$ описывается отрезком прямой линии (рис. 7). В кривую часть графика при значениях $D_t/H > 0,7$ вписывается дуга окружности, имеющей единичный радиус. Прямая и дуга соотносятся таким образом, что первая является касательной ко второй, а точка касания имеет абсциссу $D_t/H = 0,65$ и ординату $\eta_{mt}/\eta_m = 0,61$. Центр дуги располагается на оси абсцисс в точке $D_t/H = 1,45$.

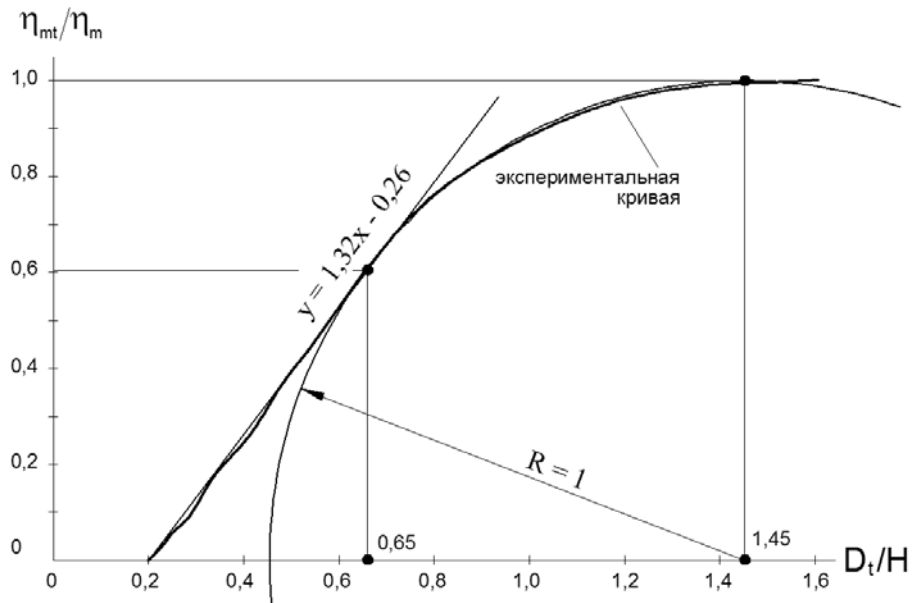


Рис. 7 – Графическая интерпретация экспериментальной кривой относительных максимальных оседаний

Графическая интерпретация кривой распределения η_{mt}/η_m от D_t/H позволила установить аналитическое описание графика на рис. 6. Оно имеет следующий вид

При значениях $0,2 < D_t/H \leq 0,65$ относительное максимальное оседание η_{mt}/η_m определяется по формуле

$$\eta_{mt}/\eta_m = 1,32 \cdot D_t/H - 0,26 \leq 0,61;$$

при $1,45 > D_t/H > 0,65$

$$\eta_{mt}/\eta_m = \sqrt{1 - (1,45 - D_t/H)^2};$$

при $D_t/H \geq 1,45$

$$\eta_{mt}/\eta_m = 1.$$

Среднее квадратическое отклонение рассчитанных по установленной аналитической зависимости величин η_{mt}/η_m от распределения, представленного в табл. 2 составляет $\pm 0,019$, т.е. не превышает 2% от максимального значения.

ВЫВОДЫ.

Исследования закономерностей расположения максимальных оседаний в мульде сдвижения в стадии ее формирования в условиях Западного Донбасса показали, что положение точек, имеющих максимальное оседание, зависит от текущего размера очистной выработки. Эта зависимость с погрешностью $\pm 5\%$ описывается линейной функцией.

Расстояние от проекции разрезной печи до текущего положения максимального оседания в мульде сдвижения пропорционально текущему размеру очистной выработки и не зависит от глубины разработки угольного пласта.

Исследования закономерностей изменения максимальных оседаний в мульде сдвижения в стадии ее формирования в условиях Западного Донбасса показали, что они так же зависят от текущего размера очистной выработки. Эта зависимость с погрешностью $\pm 5\%$ описывается функцией, заданной в табличном виде.

При подвигании очистной выработки D_i/H (выраженном в долях от глубины разработки) от разрезной печи в пределах от 0,2 до 0,65 зависимость максимальных оседаний от размера выработки является прямолинейной. При дальнейшем увеличении размеров выработанного пространства относительная величина η_{ml}/η_m стремится к своему максимуму, т.е. к единице.

Выполненные исследования показали, что процесс сдвижения земной поверхности над очистными выработками шахт Западного Донбасса начинается при отходе очистного забоя лавы от разрезной печи на фиксированное расстояние $0,2H$.

Полученные результаты характеризуют отдельные закономерности формирования мульды сдвижения, но разработанные новые методологические подходы в совокупности с установленными зависимостями могут быть использованы для более общей оценки процесса сдвижения земной поверхности на шахтах Западного Донбасса и на других месторождениях с пологим залеганием угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авершин С.Г. Сдвижение горных пород при подземных разработках. – М.: Углетехиздат, 1947. – 245с.
2. Кратч Г. Сдвижение горных пород и защита подрабатываемых сооружений; Пер. с нем. под ред. Р.А. Муллера и И.А. Петухова. – М.: Недра, 1978. – 494 с.
3. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом // Отраслевой стандарт. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
4. Назаренко В.А., Антипенко Г.А. О некоторых терминах и определениях процесса сдвижения земной поверхности // Уголь Украины. – 2001. – № 9. – С. 44-45.
5. Батугин С.А. Сдвижения и деформации земной поверхности и горных пород над движущимся забоем // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1962. – Сб. 47. – С. 159-199.
6. Назаренко В.А. Аналитическое описание вертикальных сдвижений и деформаций земной поверхности над движущимся очистным забоем в условиях Западного Донбасса // Наук. праці ДонНТУ: Серія гірничо-геологічна. – Донецьк, 2003. – Вип. 62. – С. 45-52.