© Ю.В. Посыльный, 2008

УДК 622.834.1

Ю.В. Посыльный

ОБОСНОВАНИЕ ГРАНИЧНОГО КРИТЕРИЯ ПРОЦЕССА СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Семинар № 1

На вертикальном разрезе вкрест простирания горных пород мульда сдвижения земной поверхности точкой максимального оседания и граничными точками делится на две полумульды, в пределах которых оседания изменяются закономерно. От точки максимального оседания к границе оседания уменьшаются по вогнутой части кривой, а от точки перегиба – по выпуклой части. При исследовании оседаний их нормируют, т. е. приводят к единичному виду, а именно, длину полумульды делят на 10 равных частей и в точках деления вычисляют отношения оседаний к максимальному оседанию. Таким образом, получают единичную кривую оседаний или единичное распределение ее.

Распределение оседаний в полумульде существенно зависит от положения граничной точки, которую рекомендуется определять по фактическим деформациям [1]: наклон $i = 0{,}5\cdot10^{-3}$ и растяжение $\varepsilon = 0{,}5\cdot10^{-3}$. При использовании этих критериев на практике оседания в граничных точках принимают различные значения. В качестве примера приведем данные измерений на станции № 281 (шахта №3 Дарьевская, трест Фрунзеуголь, комбинат Донбассантрацит) [2]. Первое наблюдение на станции проведено в июне 1967 года. В октябре 1967 года профильная линия вкрест простирания была подработана лавой № 11 по пласту h_{11}. Условия подработки: мощность пласта 1,3 *м*, угол падения 14°, длина лавы 255 *м*, средняя глубина 260*м*, скорость подвигания забоя 20–25 *м*/*мес*., управление кровлей – полное обрушение. Подрабатываемая толща состоит из песчаников (23 %), песчаных сланцев (26%), глинистых сланцев (26 %) и наносов (2 %). Дата второго наблюдения – август 1968 года, когда процесс сдвижения от лавы №11 в основном закончился.

На рис. 1 показана кривая оседаний и ее граничные точки сдвижения. На этом рисунке видно, что в полумульде по падению пласта 7 граничных точек сдвижения, которые распо-ложены в зоне $\Delta L_{П}$, ширина которой составляет 0,33 от минимальной длины полумульды. Размах варьирования полумульд составляет 53 м. В полумульде по восстанию пласта две граничные точки сдвижения расположены в зоне $\Delta L_{В} = 0{,}69L$. Размах варьирования полумульд составляет 60 м.

Величины оседаний в граничных точках и длины полумульд приводятся в табл. 1. Из анализа табл. 1 следует, что применение граничных критериев $i = 0{,}5\cdot10^{-3}$ и $\varepsilon = 0{,}5\cdot10^{-3}$ сопровождается разными оседаниями на границе мульды. Эти оседания изменяются от 7 до 80 мм.

Отсюда можно сделать вывод о том, что при таких граничных оседаниях мы получим различные единичные

Таблица 1

Оседания в граничных точках сдвижения

Полумульды по падению пласта		
Граничный критерий	**Длина полумульды**	**Оседание на границе**
$i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	165 *м*	27 *мм*
$i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	174 *м*	25 *мм*
$i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	187 *м*	16 *мм*
$i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	207 *м*	11 *мм*
$i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	214 *м*	7 *мм*
$\varepsilon = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	161 *м*	10 *мм*
$\varepsilon = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	211 *м*	30 *мм*
Полумульды по восстанию пласта		
$\varepsilon = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	87 *м*	80 *мм*
$i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$	147 *м*	7 *мм*

распределения, поэтому граничную точку на кривой оседаний следует устанавливать не по величинам деформаций, а по величине граничного оседания. Граничная величина оседания, равная 15 мм, рекомендовалась правилами охраны сооружений 1972 г. [3]. По данным измерений на станции № 281 в полумульде по падению две граничные точки с оседанием 15 мм и одна по восстанию пласта. Длины полумульд по падению пласта составляют 189 и 203,5 м, а по

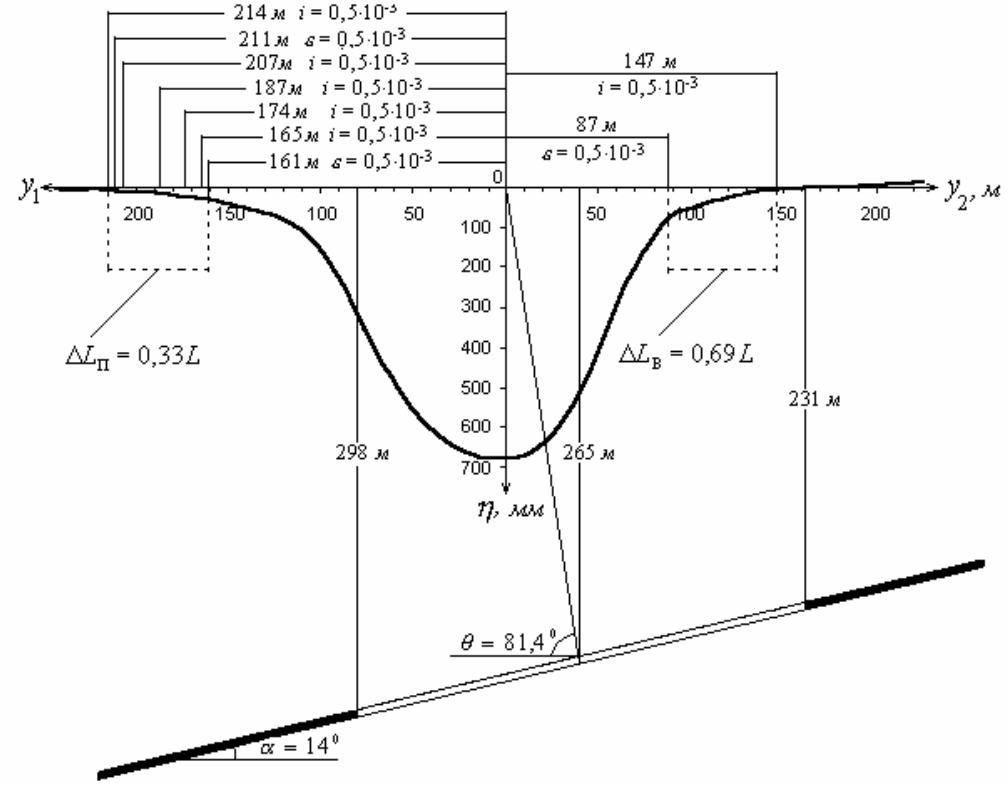

Рис. 1. Зоны граничных точек сдвижения: $\Delta L_П$ и в $\Delta L_В$ полумульдах по падению и восстанию пласта соответственно

Таблица 2

Измеренные оседания на профильной линии №1

Дата	Оседания реперов Е, 1, 2…16 в *мм*																
	Е	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
07.08.69	–1	–1	–3	0	2	3	4	5	4	8	10	11	8	6	4	6	4
27.09.69	–1	5	1	2	6	16	12	18	18	32	34	40	40	34	27	29	20
04.11.69	–1	6	3	9	10	24	26	39	48	67	75	86	82	67	53	44	32
03.12.69		6	4	8	10	22	32	55	80	112	130	164	122	100	72	48	30
09.01.70		24	22	27	28	36	63	101	161	211	229	262	210	168	123	85	60
11.02.70		13	10	24	24	40	72	120	202	266	286	307	254	198	144	98	68
11.03.70		12	16	24	23	50	85	139	244	313	324	348	284	218	162	102	69
13.04.70		8	16	20	28	56	94	159	274	346	362	376	314	239	173	104	72
14.05.70		10	12	17	32	54	92	166	285	360	379	384	321	245	171	100	65
17.06.70	–2	10	11	18	37	60	101	179	302	380	399	404	340	266	188	114	77
20.07.70	–3	10	14	18	40	66	113	185	312	392	408	418	346	276	194	120	76
18.09.70	–10	1	5	14	28	57	92	176	304	394	418	424	352	275	193	116	75
17.11.70	2	12	19	26	42	68	108	193	322	408	438	446	368	290	207	128	85
05.06.72	8	24	26	38	64	88	132	220	347	430	452	454	373	317	230	157	108

восстанию длина полумульды равна 131 м. Размах варьирования полумульд по падению 14,5 м, а полумульд по восстанию 0 мм. Это значительно меньше по сравнению с размахами варьирования полумульд, полученных с использованием критериев $i = 0{,}5\cdot10^{-3}$ и $\varepsilon = 0{,}5\cdot10^{-3}$.

При формировании мульды определить ее границу в начальном периоде при помощи принятых в настоящее время граничных критериев нельзя, так как на поверхности земли в начальной стадии сдвижения не возникают граничные сдвижения и деформации: $\eta = 15$ мм, $i = 0{,}5\cdot10^{-3}$ и растяжение $\varepsilon = 0{,}5\cdot10^{-3}$. Кроме этого, при нормировании кривых оседаний на профильных линиях нескольких наблюдательных станций с различными максимальными оседаниями граничные точки с оседанием 15*мм* находятся в неодинаковом положении, так как отличаются различными величинами относительных оседаний. Так, при максимальном оседании 1000 мм граничная точка характеризуется относительным оседанием 0,015, а при максимальном оседании 200 мм относительное оседание на границе составляет 0,075. Получается так, что при нормировании кривой оседаний все относительные оседания $S(z)$ в точках деления $z = 0$, 0,1 – 0,9 определяются как частное от деления оседания в точке z на максимальное оседание, а в точке $z = 1{,}0$ применяемый принцип нарушается. По нашему мнению оседание в граничной точке должно выражаться в относительной мере.

Для устранения указанных выше недостатков нами предлагается новый граничный критерий: относительное оседание. $S(z) = 0{,}03$. Величина этого критерия получена как среднее арифметическое значение из относительных оседаний на ряде наблюдательных станций в условиях Донбасса.

Применим граничный критерий оседание 0,03 и существующие критерии к данным измерений сдвижений и деформаций земной поверхности в условиях шахты «Зверевская» ОАО «Гуковуголь», которые представлены в табл. 2.

В этой таблице приводятся 14 серий наблюдений. Шахта «Зверевская» в 1969–1972 гг. отработала лавой № 203

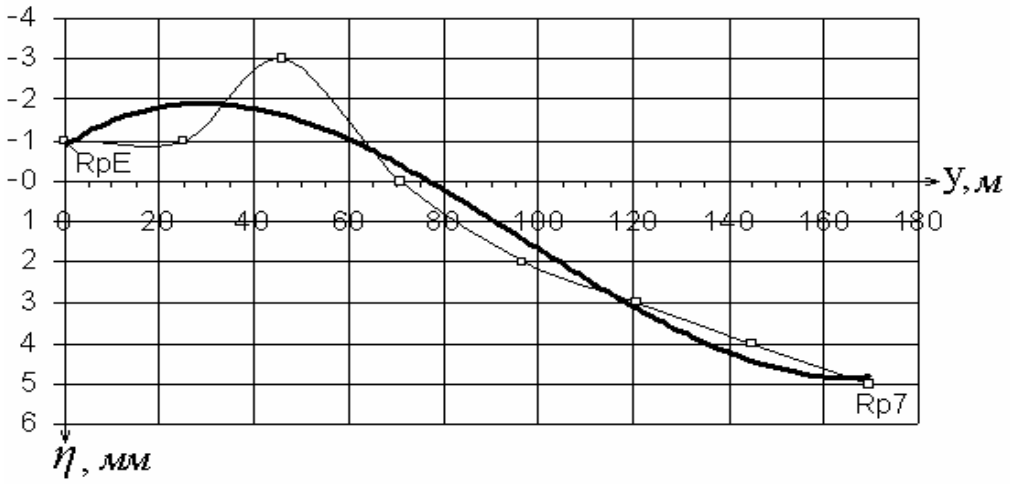

Рис. 2. Граничный участок первого измерения оседаний 07.08.69: 81 м – абсцисса точки с относительным оседанием 0,03 (0,3 мм); абсцисса точки с оседанием 15 мм не существует

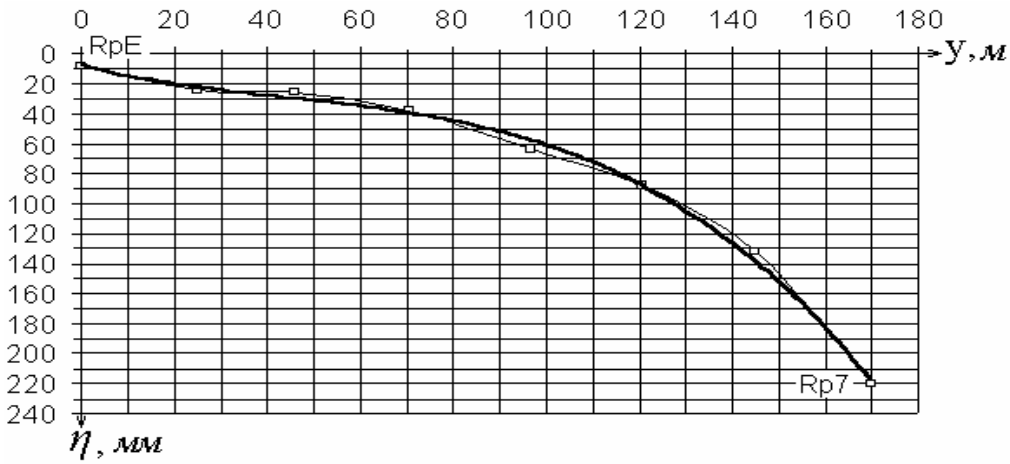

Рис. 3. Граничный участок четырнадцатого измерения оседаний 05.06.72: 8 м – абсцисса точки с относительным оседанием 0,03 (13,6 мм); 10 м – абсцисса точки с оседанием 15 мм

угольный пласт K_2 мощностью 1,21 м. Управление кровлей – полное обрушение. Средняя глубина разработки пласта – 326 м. Размер лавы вкрест простирания пласта составляет 160 м. Мощность покровных отложений – 20 м.

В полумульде по падению измерениями охвачена граничная зона сдвижения, а в полумульде по восстанию пласта такие измерения отсутствуют. Начало координат помещено на RpE. Тонкими линиями обозначены фактические кривые, а утолщенными – сглаженные кривые (рис. 2 и 3).

Сглаживание выполнено полиномом третьей степени по оседаниям

Таблица 3

Наклоны i, отнесенные к абсциссам y середин Интервалов между реперами

Интервалы	*y, м*	Наклоны *i*, $1 \cdot 10^{-3}$													
		1 набл.	**2 набл.**	**3 набл.**	**4 набл.**	**5 набл.**	**6 набл.**	**7 набл.**	**8 набл.**	**9 набл.**	**10 набл.**	**11 набл.**	**12 набл.**	**13 набл.**	**14 набл.**
Е–1	12,504	0	–0,24	–0,28							–0,48	–0,52	–0,44	–0,40	–0,64
1–2	35,447	0,10	0,19	0,14	0,10	0,10	0,14	–0,19	–0,38	–0,10	–0,05	–0,19	–0,19	–0,34	–0,10
2–3	58,299	–0,12	–0,04	–0,24	–0,16	–0,20	–0,56	–0,32	–0,16	–0,20	–0,28	–0,16	–0,36	–0,28	–0,48
3–4	83,567	–0,08	–0,16	–0,04	–0,08	–0,04	0,00	0,04	–0,31	–0,58	–0,74	–0,86	–0,54	–0,62	–1,01
4–5	108,4535	–0,04	–0,42	–0,58	–0,50	–0,33	–0,66	–1,12	–1,16	–0,91	–0,96	–1,08	–1,21	–1,08	–1,00
5–6	132,715	–0,04	0,16	–0,08	–0,41	–1,10	–1,31	–1,43	–1,55	–1,55	–1,68	–1,92	–1,43	–1,64	–1,80
6–7	157,371	–0,04	–0,24	–0,52	–0,93	–1,53	–1,93	–2,17	–2,62	–2,98	–3,14	–2,90	–3,38	–3,42	–3,54
7–8	182,3775	0,04	0,00	–0,36	–0,99	–2,38	–3,26	–4,17	–4,57	–4,73	–4,89	–5,05	–5,09	–5,13	–5,05
8–9	207,248	–0,16	–0,57	–0,77	–1,30	–2,03	–2,60	–2,81	–2,93	–3,05	–3,17	–3,25	–3,66	–3,50	–3,38
9–10	232,009	–0,08	–0,08	–0,32	–0,72	–0,72	–0,80	–0,44	–0,64	–0,76	–0,76	–0,64	–0,96	–1,20	–0,88
10–11	256,949	–0,04	–0,24	–0,44	–1,36	–1,32	–0,84	–0,96	–0,56	–0,20	–0,20	–0,40	–0,24	–0,32	–0,08
11–12	281,836	0,12	0,00	0,16	1,69	2,09	2,13	2,58	2,50	2,54	2,58	2,90	2,90	3,14	3,26
12–13	306,709	0,08	0,24	0,60	0,88	1,69	2,25	2,65	3,01	3,05	2,97	2,81	3,09	3,13	2,25
13–14	331,602	0,08	0,28	0,56	1,13	1,81	2,17	2,25	2,65	2,97	3,14	3,30	3,30	3,34	3,50
14–15	356,3715	–0,08	–0,08	0,36	0,97	1,54	1,87	2,43	2,80	2,88	3,00	3,00	3,12	3,20	2,96
15–16	375,6515	0,14	0,65	0,86	1,30	1,80	2,16	2,37	2,30	2,52	2,66	3,17	2,95	3,09	3,53

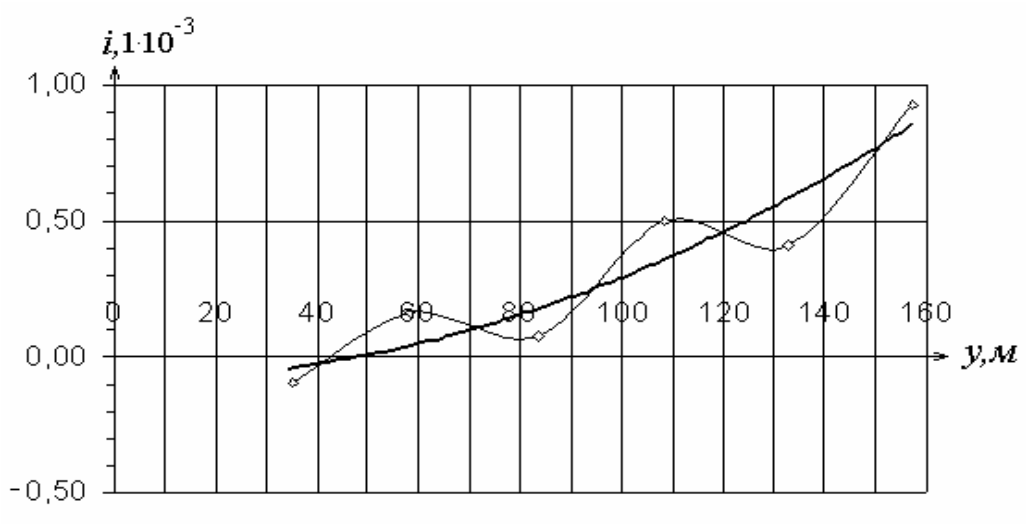

Рис. 4. Граничный участок четвертого измерения наклонов 03.12.69: абсцисса точки с наклоном $0{,}5\cdot10^{-3}$составляет 125 м

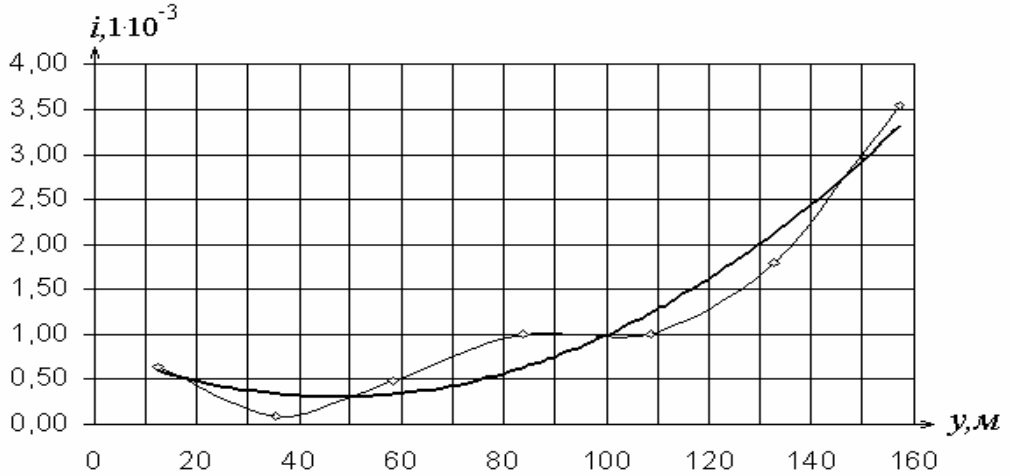

Рис. 5. Граничный участок четырнадцатого измерения наклонов 05.06.72: абсцисса точки с наклоном $0{,}5\cdot10^{-3}$ составляет 76 *м*

восьми реперов, находящихся в граничной зоне сдвижения. По сглаженной кривой определены абсциссы точек, получивших относительное оседание 0,03 и оседание 15 мм.

На рис. 2 и 3 в качестве примера показаны граничные участки кривых оседаний на начальную и конечную даты измерений оседаний земной поверхности.

В табл. 3 приводятся измеренные наклоны в мульде сдвижения.

На рис. 4 и 5 в качестве примера показаны измеренные и сглаженные наклоны в граничной части полумульды по падению пласта на четвертую и конечную даты измерений и определены абсциссы

Таблица 3а

Абсциссы у граничных точек сдвижения

№ наблюдения	Продолжительность сдвижения *T*, сутки	$y_{i_{гр}=0,5\cdot10^{-3}}$, *м*	$y_{\eta_{гр}=15мм}$, *м*	$y_{S(z)_{гр}=0,03}$, *м*
1	23	**нет**	**нет**	81
2	97	**нет**	149	20
3	135	**нет**	104	24
4	164	125	108	42
5	201	110	–3	–14
6	234	96	45	16
7	262	91	40	17
8	295	86	53	33
9	336	89	55	36
10	370	84	55	39
11	403	75	52	42
12	432	84	75	69
13	461	84	28	25
14	1074	76	10	8
Средняя абсцисса граничной точки		**90,9**	**59,3**	**31,3**

Таблица 4

Абсциссы точек максимального оседания

№ наблюдения	Продолжительность Т, сутки	y_{η_m}, *м*	Средняя абсцисса $\overline{y}_{\eta_m}$, *м*	Погрешность $m_{\overline{y}_m}$, *м*	*V*,%	$y_{\max}$, *м*	$y_{\min}$, *м*	*R*,*м*
1	23	265						
2	97	281						
3	135	276						
4	164	269						
5	201	268						
6	234	266						
7	262	266	266,5	±5,6	±2,1	281	261	20
8	295	264						
9	336	263						
10	370	263						
11	403	264						
12	432	263						
13	461	262						
14	1074	261						

граничных точек с наклоном $i = 0,5\cdot10^{-3}$ на сглаженной кривой.

Сглаживание выполнено полиномом второй степени. На кривых наклонов первого, второго и третьего измерений абсциссы наклонов, равных $0,5\cdot10^{-3}$ не существуют.

В табл. 3а приводятся абсциссы граничных точек сдвижения, полученные по четырнадцати наблюдениям с ис-

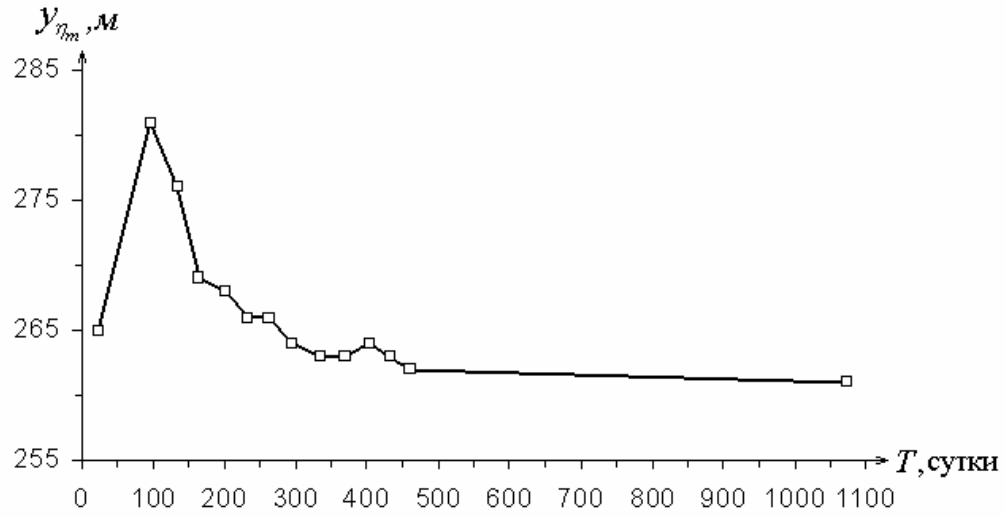

Рис. 6. Изменение абсциссы точки максимального оседания в процессе формирования мульды сдвижения

пользованием трех граничных критериев.

Анализ табл. 3а показывает, что из всех критериев, применяемых для определения границы мульды при ее формировании, только критерий относительное оседание 0,03 позволяет находить граничную точку сдвижения на все даты измерений оседаний, при чем этот критерий характеризуется тенденцией удаления от точки максимального оседания. На этот факт указывает средняя абсцисса положения относительного оседания 0,03, равная 31,3 м.

Установим на кривых оседаний абсциссы y_{η_m} точек максимального оседания на каждую дату измерений и результаты сведем в табл. 4.

В этой таблице видно, что среднее значение абсциссы $\bar{y}_{\eta_m} = 266,5м$ определяется со средней квадратической погрешностью $m_{\bar{y}_m} = \pm 5,6м$ и относительной погрешностью $V = 2,1$ %

Максимальное значение абсциссы точки максимального оседания $y_{\max} = 281$ м, а минимальное – $y_{\min} = 261$ м. Размах варьирования R составляет 20 м.

На рис. 6 показано изменение абсциссы точки максимального оседания с первого по четырнадцатое наблюдения. Здесь видно, что с увеличением продолжительности сдвижения T абсцисса точки максимального оседания y_{η_m} уменьшается, следовательно, в принятой системе координат точка максимального оседания смещается в сторону падения угольного пласта.

По абсциссам граничных точек и точек максимального оседания вычислим длины полумульд сдвижения на каждую дату измерений. Результаты определения длин полумульд приводятся в табл. 5.

Вычисленные средние длины полумульд сдвижения указывают на то, что только граничный критерий 0,03 позволяет определять длины полумульд при всех датах наблюдений. При использовании этого критерия наблюдается тенденция к увеличению длины полумульды сдвижения и, следовательно, к

уменьшению величины граничного осе-
дания.

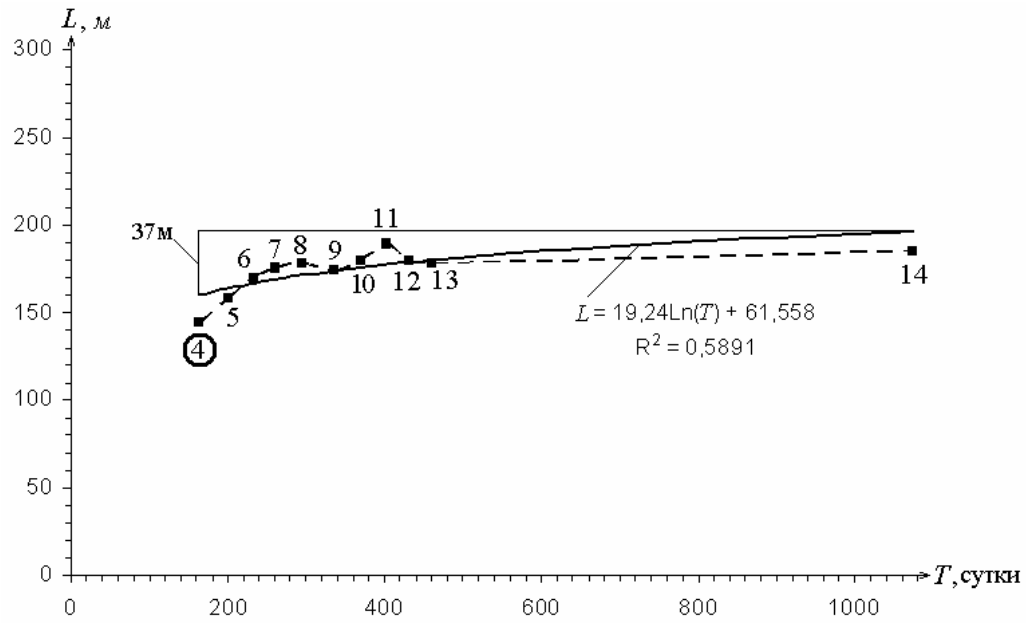

Рис. 7. Изменение длин полумульд сдвижения при использовании граничного критерия наклон $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$

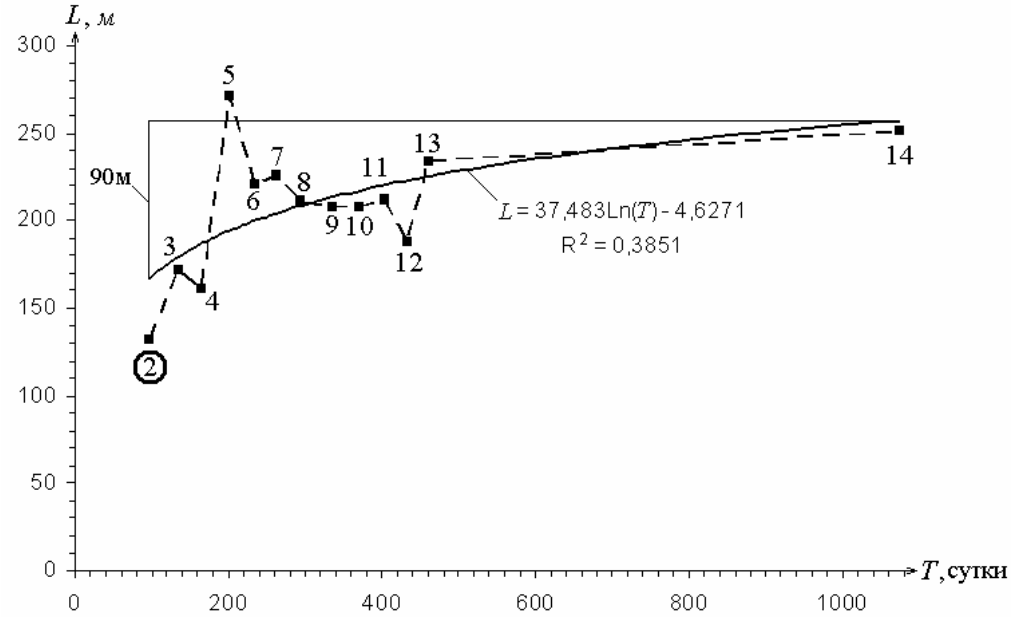

Рис. 8. Изменение длин полумульд сдвижения при использовании граничного критерия оседание η =15мм

Таблица 5

Длины полумульд сдвижения при различных граничных критериях

№ наблюдения	Продолжительность *T*, сутки	$L_{i_{ср}}$, *м*	$L_{\eta_{ср}}$, *м*	$L_{S(z)_{ср}}$, *м*
1	23	**нет**	**нет**	184
2	97	**нет**	132	261
3	135	**нет**	172	252
4	164	144	161	227
5	201	158	271	282
6	234	170	221	250
7	262	175	226	249
8	295	178	211	231
9	336	174	208	227
10	370	179	208	224
11	403	189	212	222
12	432	179	188	194
13	461	178	234	237
14	1074	185	251	253
Средняя длина		**173,5**	**207,3**	**235,2**

На рис. 7, 8 и 9 показаны тенденции увеличения длин полумульд по падению пласта от начала процесса сдвижения до его окончания.

Применение граничного критерия наклон $i = 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ сопровождается закономерным увеличением длины полумульды с увеличением продолжительности процесса сдвижения. Разность между начальной и конечной длинами полумульд по линии тренда составляет 37 м (см. рис. 7). Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}5891$, что указывает на среднюю статистическую связь [4]. Однако этот граничный критерий не позволяет устанавливать граничную точку мульды в начальной стадии процесса сдвижения.

При использовании граничного критерия $\eta = 15$ мм наблюдается закономерное увеличение длин полумульд по линии тренда с разностью между начальной и конечной длинами в 90 м (см. рис. 8). Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}3851$ показывает, что связь между временем протекания процесса сдвижения и длиной полумульды слабая [4]. Критерий оседание 15*мм* также не позволяет находить границу мульды в начальный период сдвижения земной поверхности.

Определение длин полумульд сдвижения посредством предлагаемого нами критерия $S(z) = 0{,}03$ приводит к увеличению длин полумульд с разностью между начальным и конечным значением в 27 м по линии тренда (см. рис. 9). Это меньше 37 и 90*м*. Коэффициент детерминации R^2, равный 0,0558, указывает на отсутствие закономерной связи между длиной полумульды и периодом процесса сдвижения. С применением этого критерия появляется возможность получать размер полумульды независимо от времени протекания процесса сдвижения. Каждое определение полумульды на различные даты измерений можно считать измеренной величиной с определенной случайной погрешностью и применять среднее арифметическое значение из всех измеренных полумульд как наиболее вероятное значение, которое будет

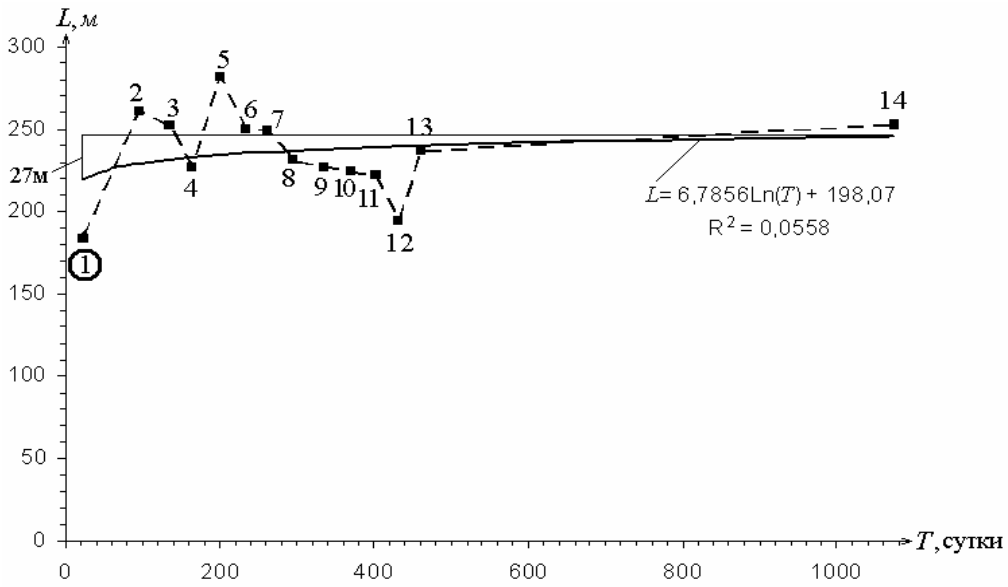

Рис. 9. Изменение длин полумульд сдвижения при использовании граничного критерия – относительное оседание S(z) = 0,03

однозначно характеризовать размер мульды от начала процесса сдвижения до его окончания.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности применения предлагаемого нами критерия в практике маркшейдерских работ, связанных с установлением граничных точек сдвижения, размеров полумульд сдвижения, граничных углов и распределений деформаций в мульде в процессе ее формирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Посыльный Ю.В.* Анализ граничных критериев процесса сдвижения земной поверхности над горной выработкой /Горный информационно- аналитический бюллетень. – М.: МГГУ. – 2001. – № 7. – С. 88 – 93.

2. *Отчет по* теме У1/2: «Исследование сдвижения земной поверхности при выемке свиты пластов в Донбассе» (Глава У: «Изучение сдвижения земной поверхности в антрацитовых районах»): Отчет о НИР /Украинский филиал ВНИМИ; Руководитель А. Н. Медянцев. – Донецк, 1968–69 гг. – 26 с.

3. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок в Донецком угольном бассейне. – М.: МУП СССР, 1972 г. – 133 с.

4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Колос.– 1973. – 334 с. ГИАБ

Коротко об авторе

Посыльный Ю.В. – доктор технических наук, профессор, ЮРГТУ (НПИ).

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин.*