

УДК 622.834

*к.т.н. Кизияров О. Л.,
к.т.н. Доценко О. Г.,
к.т.н. Аверин Г. А.,
д.э.н. Гришко Н. В.*

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, dotcenkoo@mail.ru)

УСТАНОВЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОЧВУ ИЗВЛЕЧЕННОГО ПЛАСТА

В статье представлены результаты установления времени стабилизации горного давления на почву извлеченного пласта, полученные посредством анализа процесса оседания подработанной горными работами земной поверхности.

Ключевые слова: *стабилизация горного давления, выработанное пространство, оседания земной поверхности, активный период оседаний.*

Актуальной задачей горного производства на глубоких шахтах долгое время остается поддержание подготовительных выработок в нормальном эксплуатационном состоянии. Перспективные способы сохранения нормального эксплуатационного состояния выработок связаны с их проведением в разгруженных зонах, в том числе в породах выработанного пространства. Опыт шахт Донбасса, практикующих проведение выработок по обрушенным породам, свидетельствует о хорошем их состоянии. Однако для применения данного метода охраны требуется, чтобы обрушенные породы достаточно уплотнились и давление на почву извлеченного пласта стабилизировалось [1].

В работе [1] представлены результаты шахтных натурных замеров давления обрушенных пород на почву извлеченного пласта, взятые по данным динамометрических площадок, закладываемых в бутовые полосы вслед за проходом лавы. В разные моменты времени фиксировались показания вертикального давления породного массива. На основании полученных экспериментальных данных автор пришел к выводу, что на глубине разработки 500 м стабилизация горного давления на почву извлеченного пласта происходит при отходе лавы на расстояние $0,6 \cdot L$ (где L — длина лавы, м) и длится не менее 8 месяцев.

В выработанном пространстве лавы давление на почву отработанного пласта создают породы, отслоившиеся от массива кровли и находящиеся внутри области подработки. После прохода лавы происходит посадка кровли непосредственной, а затем и основной. По мере вовлечения в процесс оседания вышележащих породных масс давление на почву пласта возрастает, а на земной поверхности формируется мульда сдвижений.

В работе [2] одновременно с измерением давления пород в выработанном пространстве, выполненном аналогично исследованиям [1], изучалось опускание земной поверхности над исследуемой лавой вдоль направления ее движения. Установлено, что стабилизация давления на почву извлеченного пласта происходит одновременно с завершением активного периода оседаний земной поверхности.

В отличие от наблюдений за проявлениями горного давления непосредственно в нижней части зоны полных сдвижений подработанного массива натурные наблюдения за вертикальными смещениями земной поверхности не вызывают особых методических затруднений. Следовательно, продолжительность восстановления горного давления на почву извлеченного пласта может быть установлена по результатам маркшейдерских наблюдений за оседанием подработанной земной поверхности.

Цель работы — установить время стабилизации горного давления на почву извлеченного пласта через время активных оседаний земной поверхности.

Исходными данными для установления зависимости времени активных оседаний земной поверхности послужили результаты нивелирования 4-х участков железных дорог (табл. 1). В таблице 1 приняты следующие обозначения: m — мощность пласта; H — глубина разработки; α — угол

падения пласта; $L_{ст}$ — длина выемочного столба; l_p — шаг установки реперов; N_p — количество реперов. Наблюдения характеризуются различными глубинами разработки, скоростями подвигания очистных работ и ориентировкой теодолитного хода относительно направления движения лавы.

Выкопировка из плана горных работ шахты им. М. В. Фрунзе по пласту h_8 показана на рисунке 1.

Таблица 1

Сведения о наблюдаемых подработанных участках

Горно-геологические и горнотехнические условия				Сведения о трассе нивелирования			
m , м	H , м	α , град	$L_{ст}$, м	расположение трассы по отношению к направлению отработки выемочного столба	l_p , м	N_p	Маркировка реперов
<i>8 западная лава шахты им. М. В. Фрунзе (пласт h_8)</i>							
2,0	890	14	850	вдоль выемочного столба	100	9	P1, P2, ..., P9
<i>Лава № 35 шахты им. М. В. Фрунзе (пласт h_8)</i>							
1,5	1030	1–2	830	под углом 17° к направлению подвигания лавы	100	2	R1 и R2
<i>4 восточная лава шахты им. XIX съезда КПСС (пласт l_1)</i>							
1,3	540	6–10	900	одна часть ж/д полотна расположена вдоль столба, а другая уходит под углом 15° к линии простирания	30	8	C1, C2, ..., C8.
<i>64 лава шахты им. Володарского (пласт h_8)</i>							
1,23	1100	15	900	перпендикулярно	100	1	V ₁

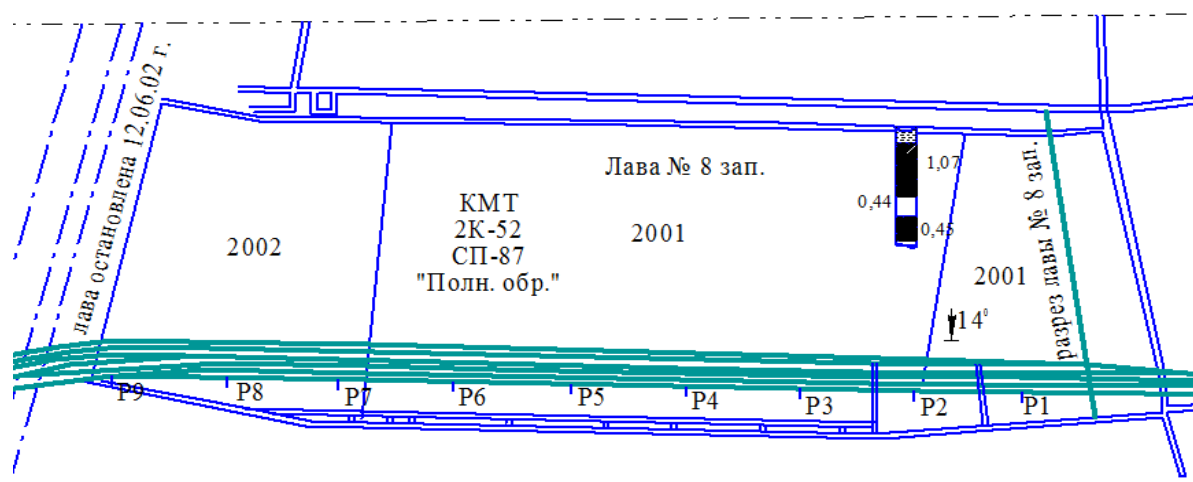


Рисунок 1 Выкопировка из плана горных работ шахты им. М. В. Фрунзе по пласту h_8 западной лавы № 8

Отработка выемочного столба велась прямым ходом. Мульда формируется от разрезной печи (точка РП на рисунке 2). За начальные отметки реперов приняты замеры, проведенные до начала ведения добычных работ. Кривые 1–6 на рисунке 2 отражают фактические оседания земной поверхности, произошедшие к моменту проведения замеров, выполненных в период отработки выемочного столба. Местонахождение очистного забоя 8-й западной лавы по

отношению к подрабатываемому объекту показано в таблице. Строение пласта h_8 — сложное, его мощность достигает 2 м. Угол падения пласта на площади выемочного участка колеблется от 14 до 21°. Длина лавы равна 310 м, а выемочного столба — 850 м. Средняя скорость подвигания очистного забоя, оснащенного комплексом КМТ в составе с комбайном 2К-52, достигала 45 м/мес. Глубина разработки — 890 м. Управление кровлей принято полным обрушением.

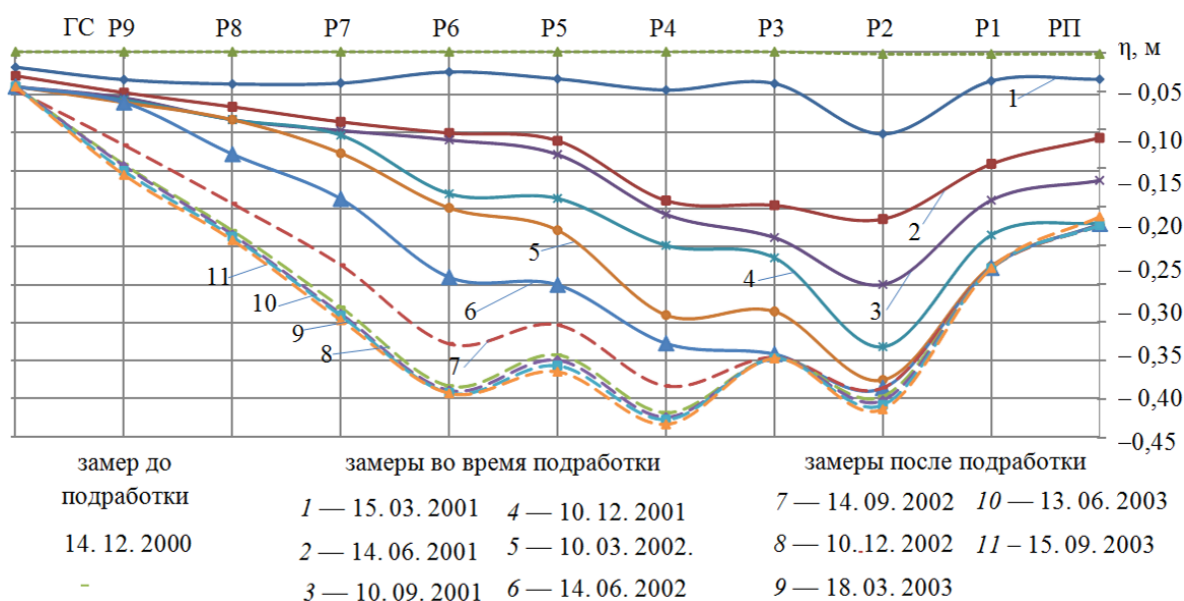


Рисунок 2 Графики фактических вертикальных оседаний земной поверхности η , подработанной западной лавой № 8 пласта h_8 шахты им. М. В. Фрунзе

Таблица 2

Местонахождение очистного забоя 8-й западной лавы по отношению к подрабатываемому объекту

Этап обследования объекта	Дата нивелирования	Подвигание забоя, м	Проекция забоя на земную поверхность
До начала подработки	14.12.2000	0	на отметке РП (разрезная печь)
Во время подработки	15.03.2001	141	под Р2
	14.06.2001	417	между Р4 и Р5
	10.09.2001	550	под Р6
	10.12.2001	670	между Р7 и Р8
	10.03.2002	773	под Р8
	14.06.2002	850	на границе столба (ГС)
После подработки	14.09.2002	-	на границе столба (ГС)
	10.12.2002	-	
	18.03.2003	-	
	13.06.2003	-	
	15.09.2003	-	

Анализируя оседания, происшедшие в период осуществления добычных работ, можно отметить прирост смещений по нивелируемым точкам позади лавы и незначительные оседания земной поверхности впереди нее. Оседания волнообразно движутся вслед за лавой. С ростом расстояния между проекцией очистного забоя и репером, оставшимся за ним, прирост смещений в нивелируемой точке между соседними датами замеров сокращается. При определенном отставании от лавы смещения практически прекращаются, что говорит о затухании процесса оседаний в рассматриваемой точке. Так, например, к окончанию работы 8-й лавы (к 12.06.2002) прирост смещений по реперам Р1, Р2, Р3 малозаметен и не превышает 0,01 м. Согласно [3], окончанием процесса сдвижения земной поверхности считают дату замеров, после которой суммарные оседания на протяжении 6 месяцев на превышают 0,03 м. Таким образом, к моменту отработки выемочного столба на участке Р1–Р3 процесс сдвижения земной поверхности практически завершился.

Замеры, проведенные после остановки лавы (14.09.2002 и 10.12.2002), показывают заметный прирост смещений по реперам Р4–Р9. На этом участке идет активный период процесса смещения земной поверхности, который спустя полгода также переходит в стадию затухания. Результаты последующих замеров, представленные кривыми 9–11 на рисунке 2, показывают весьма незначительный прирост смещений, так как их величина не достигает 0,03 м, что свидетельствует о прекращении процесса сдвижения вдоль всего подработанного участка.

Аналогичным образом были построены графики фактических оседаний по остальным трем подработанным объектам.

По результатам натурных замеров строились графические зависимости развития оседаний земной поверхности во времени для каждого замерного пункта в системе координат $t-\eta$ (время — оседания),

которые описывают постепенное нарастание смещений при подходе лавы к наблюдаемой точке, активную часть процесса после прохода очистного забоя и последующее затухание сдвижения земной поверхности (рис. 3, а). Для четкого и однозначного разделения стадий (начальной, активной и затухания) процесса сдвижения использована методика [4], согласно которой при постоянной скорости подвигания лавы оседания земной поверхности во времени описываются логистической функцией

$$\eta(t) = \eta_k \cdot \left[1 - \exp\left(-\beta_1 \cdot (t + t_0)^2\right) \right], \text{ мм}, (1)$$

где η_k — конечное значение оседаний некоторой точки земной поверхности;

β_1 — эмпирический коэффициент, определяемый по данным наблюдений;

t_0 — время, прошедшее от начала воздействия на репер до момента прохода отвора лавы под ним.

Начало координат ($t=0$) соответствует времени подхода лавы под рассматриваемую точку. Влияние лавы на точку земной поверхности прослеживается еще до подхода лавы к ней за t_0 суток. Кривая оседания (рис. 3, а) берет начало из точки с координатами $(t_0, 0)$ и возрастает до уровня конечных оседаний η_k под углом наклона, зависящим от коэффициента β_1 . Чем более пологая кривая, тем значение коэффициента меньше, и определяется величиной порядка 10^{-6} . Чем круче кривая, тем больше величина коэффициента, которая на порядок выше (10^{-5}). Параметры η_k, β_1, t_0 зависимости (1) для каждого из рассматриваемых реперов устанавливались путем решения уравнений для трех точек.

Далее по зависимости (1) анализировались скорость развития процесса $v(t)$, ускорение $a(t)$ и темп изменения ускорения (рывок) $\delta a(t)$.

Скорость развития процесса $v(t)$ является первой производной функции (1) по времени t

$$v(t) = 2 \cdot \eta_k \cdot (t + t_0) \cdot \beta_1 \cdot \exp\left(-\beta_1 \cdot (t + t_0)^2\right). (2)$$

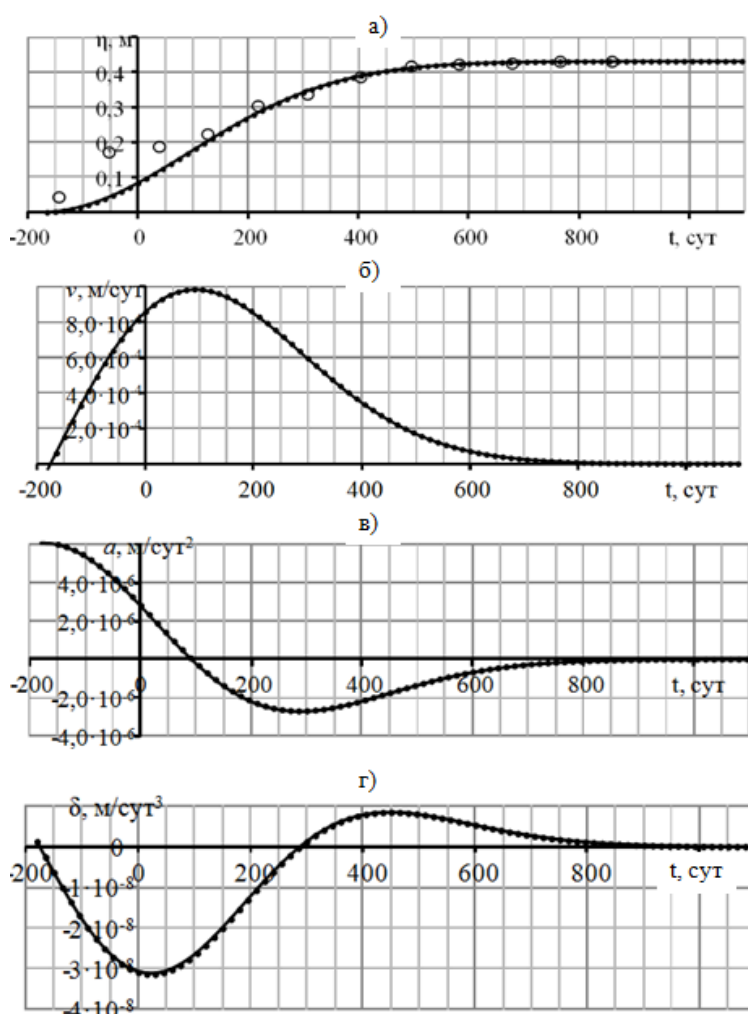


Рисунок 3 Графическое представление развития оседаний земной поверхности в одной из наблюдаемых точек: а) кривая оседаний; б) скорость развития оседаний; в) ускорение оседаний; г) рывок ускорения

С началом воздействия лавы на земную поверхность скорость $v(t)$ постепенно нарастает, достигает максимального значения и постепенно опускается до нуля. В момент достижения максимальной скорости происходит перегиб кривой оседаний (рис. 3, б).

Ускорение процесса оседаний характеризуется второй производной функции (1) и записывается в виде

$$a(t) = 2 \cdot \eta_k \cdot \beta_1 \cdot \exp\left(-\beta_1 \cdot (t+t_0)^2\right) \times \left[1 - 2 \cdot \beta_1 \cdot (t+t_0)^2\right]. \quad (3)$$

Кривая ускорения оседаний для рассматриваемой точки показана на рисунке 3, в.

Анализ графика показывает, что ускорение максимально в начале процесса сдвижения, затем постепенно уменьшается, принимает нулевое значение в момент достижения максимальной скорости (95-й день), после чего переходит в отрицательную область и снова приближается к нулю.

Третья производная функции (1) демонстрирует скорость изменения ускорения (рис. 3, г)

$$\delta a(t) = 4 \cdot \eta_k \cdot \beta_1^2 \cdot (t+t_0) \times \exp\left(-\beta_1 \cdot (t+t_0)^2\right) \cdot \left[-3 + 2 \cdot \beta_1 \cdot (t+t_0)^2\right]. \quad (4)$$

Для определения длительности активного периода оседаний земной поверхно-

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

сти удобно воспользоваться функцией (4). В качестве начала активного процесса сдвига принимается максимальное отрицательное значение скорости изменения ускорения $\delta a(t)$, а окончание рассматриваемого процесса соответствует нулевому значению изменения ускорения.

Зависимости, подобные приведенным на рисунке 3, получены для каждого репера анализируемых замерных станций, а установленная длительность активного периода представлена в таблице 3, где, кроме того, указана глубина разработки (H , м), средняя крепость пород кровли (f), вынимаемая мощность пласта (m , м), длина лавы (L , м) и среднемесячная скорость подвигания лавы (v , м/мес).

Для прогноза продолжительности активного периода оседаний подработанного массива предложена зависимость

$$t_{акт} = M^x \cdot B^z, \text{ сут.}, \quad (5)$$

где x, z — параметры уравнения регрессии; $M = Hf$ — интегральный коэффициент, учитывающий глубину разработки H , m и среднюю крепость пород f , формирующих свод обрушения;

B — параметр, учитывающий горнотехнические параметры работы лавы:

$$B = m \cdot L \cdot v, \text{ м}^3. \quad (6)$$

Для нахождения параметров регрессии (5) использована программа Statistica, в результате итерации получены параметры эмпирической зависимости

$$t_{акт} = \sqrt{M} \cdot B^{0,12}, \text{ сут.} \quad (7)$$

Для зависимости (7) приняты граничные условия: $240 < H < 1100$ м; $4,95 < f < 6,5$; $1 < m < 2,3$, м; $24 < v < 83$, м/мес.; $78 < L < 310$, м.

Поверхность отклика зависимости (7) представлена на рисунке 4.

Таблица 3

Результаты обработки экспериментальных данных

№ п/п	Точка	η_k , м	β_1	t_0 , сут	Активный период оседаний, сут			H , м	f	m , м	v , м/мес	L , м
					начало	окончание	$t_{акт}$					
1	P1	0,252	$1 \cdot 10^{-5}$	37	135	345	210	890	6,3	2	45	310
2	P2	0,4155	$1 \cdot 10^{-5}$	68	105	320	215	890	6,3	2	47	310
3	P3	0,3565	$1 \cdot 10^{-5}$	76	90	315	225	890	6,3	2	61	310
4	P4	0,433	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	890	6,3	2	61	310
5	P5	0,372	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	890	6,3	2	61	310
6	P6	0,397	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	890	6,3	2	52	310
7	P7	0,312	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	890	6,3	2	51	310
8	P8	0,219	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	890	6,3	2	51	310
9	P9	0,143	$1 \cdot 10^{-5}$	140	30	240	210	890	6,3	2	27	310
10	R1	0,3365	$1 \cdot 10^{-5}$	79	90	300	210	1030	6,1	1,5	83	270
11	R2	0,309	$1 \cdot 10^{-5}$	108	75	285	210	1030	6,1	1,5	83	270
12	V1	0,39	$8,5 \cdot 10^{-6}$	130	45	295	250	1100	6,5	1,23	46	240
13	C1	0,37	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	560	5,8	1	31	170
14	C2	0,403	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	565	5,8	1	33	170
15	C3	0,41	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	570	5,8	1	34	170
16	C4	0,398	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	575	5,8	1	34	170
17	C5	0,369	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	580	5,8	1	34	170
18	C6	0,35	$2,6 \cdot 10^{-5}$	110	0	140	140	585	5,8	1	35	170
19	C7	0,308	$2,7 \cdot 10^{-5}$	100	0	135	135	590	5,8	1	36	170
20	C8	0,254	$3,2 \cdot 10^{-5}$	100	0	120	120	595	5,8	1	36	170

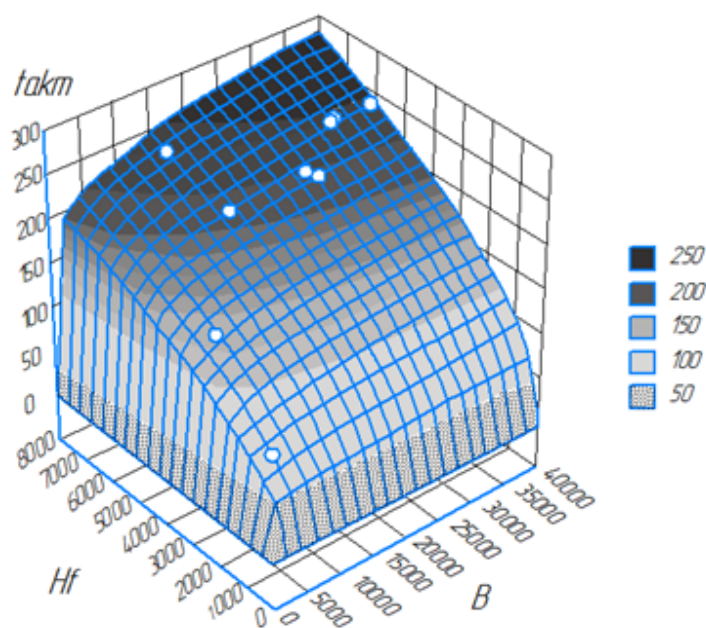


Рисунок 4 Поверхность отклика зависимости (7)

Индекс корреляции полученного уравнения регрессии равен 0,93, а индекс детерминации — 0,87. Уравнение регрессии хорошо приближает исходные данные, о чем свидетельствует относительная ошибка аппроксимации (9,12 %). Абсолютная ошибка составляет ± 5 суток. Значимость параметров зависимости (7) проверена по t -критерию Стьюдента. Существенность уравнения регрессии в целом установлена по F -критерию Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Выводы. Длительность процесса сдвигения горных пород при их подработке — это важный параметр при решении многих задач геомеханики, в том числе связанных с обоснованием параметров проведения подготовительных выработок по обрушенным породам.

Оседание подработанного очистными работами массива и стабилизация горного давления в выработанном пространстве лавы взаимосвязаны между собой и имеют одинаковую продолжительность.

Библиографический список

1. Зборицк, М. П. Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве [Текст] / М. П. Зборицк. — К. : Техника, 1978. — 176 с.

Оседание земной поверхности происходит в три этапа:

- начальный этап, который характеризуется нарастанием смещений при подходе лавы к наблюдаемой точке;
- активный период, начало которого совпадает с моментом прохода очистного забоя под наблюдаемой точкой;
- стадия затухания процесса оседаний.

Продолжительность активных оседаний земной поверхности $t_{\text{акт}}$ зависит от глубины разработки (H), крепости массива пород (f) и объема извлеченного угля за месяц (B) и может быть определена по эмпирической степенной зависимости (7) с относительной погрешностью 9,12 %, существенность которой подтверждается F -критерием Фишера и теснотой связи между показателями $R^2 = 0,87$.

Результаты проведенного исследования будут использованы при установлении параметров охраны выработок, располагаемых в обрушенных породах выработанного пространства.

2. Гапанович, Л. Н. Исследование закономерностей проявления горного давления в выработанном пространстве при выемке угля слоями в Челябинском бассейне [Текст] / Л. Н. Гапанович, Ю. Г. Гайдуков, В. Н. Лаврухин // Уголь. — 1974. — № 2. — С. 13–18.

3. ДСТУ 101,00159226,001–2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом [Текст] / Мінпаливенерго України. — Введ. 2004–01–01. — Київ, 2004. — 128 с.

4. Гавриленко, Ю. Н. Прогнозирование сдвиженной земной поверхности во времени [Текст] / Ю. Н. Гавриленко // Уголь Украины. — 2011. — № 6. — С. 45–49.

© Кизияров О. Л.

© Доценко О. Г.

© Аверин Г. А.

© Гришко Н. В.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТИ Леоновым А. А., зам. гл. инженера по производству и перспективному развитию ПП «Ш/у „Луганское“» ГУП ЛНР «РТК „Востокуголь“» Чепурным Д. С.

Статья поступила в редакцию 04.10.2021.

PhD in Engineering Kiziyarov O. L., Dotsenko O. G., PhD in Engineering Averin G. A., Doctor of Economics Grishko N. V. (DonSTI, Alchevsk, LPR, dotcenkoo@mail.ru)

FIXING THE STABILIZATION TIME OF ROCK PRESSURE ON THE EXTRACTED BED BOTTOM

Article presents the results of fixing the stabilization time of rock pressure on the extracted bed bottom obtained by analyzing the subsidence process of the undermined Earth's surface.

Key words: *stabilization of rock pressure, worked-out area, Earth's surface subsidence, active period of subsidence.*