

of calculation of the parameters of the directed destruction method.

**Findings.** We have obtained positive effect from the use of the method in the laboratory. We have carried out the experimental-industrial pilot test of the proposed technical solutions aimed at the destruction of granite blocks with uniaxial compression strength of 6–16 MPa at Hlebodarovskoye Mining Administration.

**Originality.** For the first time, the method of directed rock breaking by non-explosive destroying mixtures was

proposed. Physics of the process and its parameters was studied.

**Practical value.** The use of the proposed method allows us to fulfill directed destruction of rocks of any strength without dynamic influences on the massif.

**Keywords:** *destruction of rock, destructive non-explosive, self-expansion, tensions*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.В. Підкопасвим. Дата надходження рукопису 17.04.13.*

УДК 622.834

Г.В. Бабіюк, д-р техн. наук, проф.,  
О.Г. Доценко

Государственное высшее учебное заведение „Донбасский государственный университет“, г. Алчевск, Украина,  
e-mail: dotcenkoo@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОЧВУ ОТРАБОТАННОГО ПЛАСТА

G.V. Babiyuk, Dr. Sci. (Tech), Professor,  
O.G. Dotsenko

State Higher Educational Institution “Donbas State Technical University”, Alchevsk, Ukraine, e-mail: dotcenkoo@mail.ru

## DETERMINATION OF THE TIME OF STABILIZATION OF ROCK PRESSURE ON THE WASTE SEAM FLOOR

**Цель.** Определение длительности стабилизации горного давления в выработанном пространстве посредством анализа процесса оседания подработанной земной поверхности.

**Методика.** Получены и проанализированы натурные замеры оседаний земной поверхности во времени. По результатам анализа установлена продолжительность активной стадии сдвижений. Применен регрессионный анализ для получения зависимости времени стабилизации горного давления от основных влияющих факторов.

**Результаты.** Определены параметры логистической функции, описывающей оседания земной поверхности во времени при относительно постоянной скорости очистных работ. Получены скорость процесса, его ускорение и скорость изменения ускорения как производные разного порядка указанной логистической функции. На основании анализа графиков развития процесса оседания, построенных для каждого из реперов, выделены его стадии: начальная, активная и затухания. Установлено, что длительность активной стадии, равная времени стабилизации горного давления, определяется, прежде всего, глубиной разработки, причем эта связь описывается эмпирической степенной зависимостью.

**Научная новизна.** Заключается в установлении продолжительности процесса стабилизации горного давления в выработанном пространстве через оседания земной поверхности. Установлена связь между временем нарастания давления горного массива до величины  $\gamma H$  (гидростатическое давление) и глубиной разработки.

**Практическая значимость.** Информация о продолжительности активной стадии сдвижения подработанной толщи позволит принять решение об отставании подготовительных работ от очистных, обеспечивающем хорошее эксплуатационное состояние выработки, проводимой по обрушенным породам.

**Ключевые слова:** *стабилизация горного давления, оседания земной поверхности, активный период оседания*

**Актуальность проблемы.** Поддержание подготовительных выработок в нормальном эксплуатационном состоянии на глубоких шахтах до сих пор остается неразрешимой проблемой горного производства. Расположение выработок в обрушенных и уплотняющихся породах обеспечивает необходимую их устойчивость, но при условии, что вмещающие породы достаточно уплотнились, и давление на почву отработанного пласта стабилизировалось [1]. Для применения указанного способа охраны подготовительной выработки актуаль-

ным вопросом является установление рационального отставания проходческих работ от очистной выемки, определяемого временем восстановления давления в выработанном пространстве.

**Анализ публикаций.** В работе [1] представлены результаты шахтных натурных замеров давления обрушенной породной толщи на почву отработанного пласта, взятые по показаниям динамометрических площадок, закладываемых в бутовые полосы вслед за проходом лавы. Показания вертикального давления породного массива фиксировались в разные моменты времени. На основании полученных эксперименталь-

Таблица 1

Сведения о наблюдаемых подработанных участках

Шахта	Горно-геологические и горнотехнические условия					Сведения о трассе нивелирования					
	Лавы	пласт	$m$ , м	$H$ , м	$\alpha$ , град	$L_{ст}$ , м	Расположение трассы по отношению к направлению отработки выемочного столба	$l_p$ , м	$N_p$	Маркировка реперов	Частота замеров
„Им. М.В. Фрунзе“	И8 западная	$h_8$	2,0	890	14	950	Вдоль (рис. 1)	100	9	P1, P2, ..., P9.	поквартирно
	№ 35	$h_8$	1,5	1030	1-2	830	Под углом 17° к направлению подвигания лавы	100	2	R1 и R2	поквартирно
„Им. XIX съезда КПСС“	4 восточная	$l_1$	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.	1 раз в два месяца
„Им. Володарского“	64 лавы	$h_8$	1,23	1100	15	900	Перпендикулярно	100	1	V1	поквартирно

ных данных автор [1] сформулировал следующие рекомендации: на глубинах разработки до 500 м отставание подготовительных работ от очистного забоя должно превышать  $0,6L$  (где  $L$  – длина лавы, м) или  $0,6L/v$  (где  $v$  – среднесуточное подвигание лавы, м/сут). В Донбассе глубина ведения работ уже в ряде случаев достигает отметки 1500 м (шахты „1-2 Дзержинского“ и „Красный Партизан“). Остается не ясным: правомерно ли использование рекомендаций [1] на глубоких шахтах.

Аналогичный подход к измерению давления пород в выработанном пространстве был использован в работе Гапановича Л.Н. „Исследование закономерностей проявления горного давления в выработанном пространстве при выемке угля слоями в Челябинском бассейне“. В отличие от исследований [1], одновременно с измерением давления изучалось опускание земной поверхности над исследуемой лавой вдоль направления ее движения. Комплексные исследования позволили увязать процесс сдвижения массива с характером изменения давления на почву слоя в выработанном пространстве. Установлено, что стабилизация давления на почву отработанного пласта происходит одновременно с завершением активного периода оседаний земной поверхности.

Следовательно, длительность активного периода, а значит и время восстановления горного давления в выработанном пространстве, может быть установлена по результатам маркшейдерских наблюдений за оседанием подработанной земной поверхности. При этом анализ сдвижений земной поверхности во времени может быть проведен по методике Ю.Н. Гавриленко [2]. Предлагаемый подход позволит избежать трудоемких и продолжительных шахтных экспериментов и обобщить результаты наблюдений для шахт с разными горно-геологическими условиями разработки.

**Цель работы** – определить длительность периода стабилизации горного давления на почву отработанного пласта через время активных оседаний земной поверхности.

**Основная часть исследований.** Исходными данными для установления зависимости времени активных оседаний земной поверхности послужили результаты нивелирования 4 участков железных дорог (табл. 1). В качестве примера представлена выкопировка из плана горных работ шахты „Им. М.В. Фрунзе“ (рис. 1).

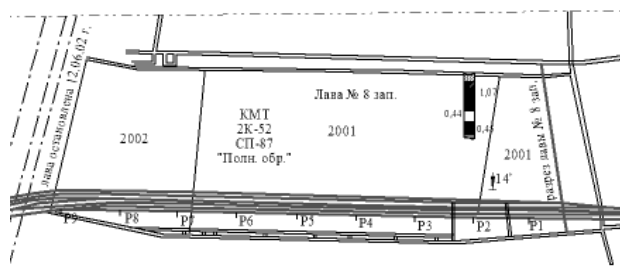


Рис. 1 Выкопировка западной лавы № 8 из плана горных работ шахты „Им. М.В. Фрунзе“ по пласту  $h_8$

В табл. 1 приняты обозначения:  $m$  – мощность пласта;  $H$  – глубина разработки;  $\alpha$  – угол падения пласта;  $L_{ст}$  – длина выемочного столба;  $l_p$  – шаг установки реперов;  $N_p$  – количество наблюдаемых реперов, взятых для получения зависимостей.

По результатам натурных замеров строили 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. Для четкого и однозначного разделения стадий (начальную, активную и затухания) процесса сдвижения использована методика [2], согласно которой при постоянной скорости подвигания лавы оседания земной поверхности во времени описываются логистической функцией, мм

$$\eta(t) = \eta_k \cdot \left(1 - e^{-\beta_1 \cdot (t+t_0)^2}\right), \quad (1)$$

где  $\eta_k$  – конечное значение оседаний некоторой точки земной поверхности;  $\beta_1$  – эмпирический коэффициент

ент, определяемый по данным наблюдений;  $t_0$  – время, прошедшее от начала воздействия на репер до момента прохода створа лавы под ним.

Параметры ( $\eta_k$ ,  $\beta_1$ ,  $t_0$ ) зависимости (1) для каждого из рассматриваемых реперов, установленные путем решения уравнений для трех точек, сведены в табл. 2. В качестве примера на рис. 2, а показана кривая оседаний, построенная в соответствии с функцией (1) для репера Р4 (рис. 1), для которого искомые параметры составили:  $t_0 = 175$  сут,  $\eta_k = 0,433$  м и  $\beta_1 = 7 \cdot 10^{-6}$ . На рис. 2, а точки замеров отмечены ромбами.

Кривая оседания (рис. 2, а) берет начало из точки с координатами ( $t_0$ , 0) и возрастает до уровня конечных оседаний  $\eta_k$  под углом наклона, зависящим от коэффициента  $\beta_1$ . Чем положе кривая, тем значение коэффициента меньше и определяется величиной порядка  $10^{-6}$ . Чем круче кривая, тем больше величина коэффициента, которая на порядок выше ( $10^{-5}$ ). Коэффициент  $\beta_1$  подбирался для каждой рассматриваемой точки земной поверхности индивидуально.

Начало координат ( $t = 0$ ) соответствует времени подхода лавы под рассматриваемую точку. Так как момент подхода лавы к рассматриваемой точке и начало оси абсцисс должны совпадать, то данные замеров смещались влево по оси абсцисс на величину, равную времени с начала работы лавы до момента ее подхода под рассматриваемую точку (репер). Влияние лавы на точку земной поверхности прослеживается еще до подхода лавы к ней за  $t_0$  суток, поэтому определить момент начала воздействия на тот или иной репер проблематично. В работе ее значение принималось следующим образом: после построения кривой фактических оседаний в плавающей системе координат по графику устанавливался период времени  $t_0$ , с которого оседания в точке начинали заметно увеличиваться.

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

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

$$v(t) = 2 \cdot \eta_k \cdot (t + t_0) \cdot \beta_1 \cdot e^{-\beta_1 \cdot (t+t_0)^2}. \quad (2)$$

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. Для репера Р4 (рис. 1) кривая скорости его оседания во времени приведена на рис 2, б. Максимальная скорость для рассматриваемой точки наблюдается на 95 день после прохода лавы под репером.

Ускорение процесса оседаний характеризуется второй производной функции (1)

$$a(t) = 2 \cdot \eta_k \cdot \beta_1 \cdot e^{-\beta_1 \cdot (t+t_0)^2} \cdot [1 - 2 \cdot \beta_1 \cdot (t + t_0)^2]. \quad (3)$$

Для точки Р4 кривая ускорения показана на рис. 2, в. Ее анализ показывает, что ускорение максимально в начале процесса сдвижения, потом постепенно уменьшается, принимает нулевое значение в момент достижения максимальной скорости (95 день), после чего переходит в отрицательную область и снова приближается к нулю.

Третья производная функции (1) показывает скорость изменения ускорения (рис. 2, г)

$$\delta a(t) = 4 \cdot \eta_k \cdot \beta_1^2 \cdot (t + t_0) \cdot e^{-\beta_1 \cdot (t+t_0)^2} \cdot [-3 + 2 \cdot \beta_1 \cdot (t + t_0)^2]. \quad (4)$$

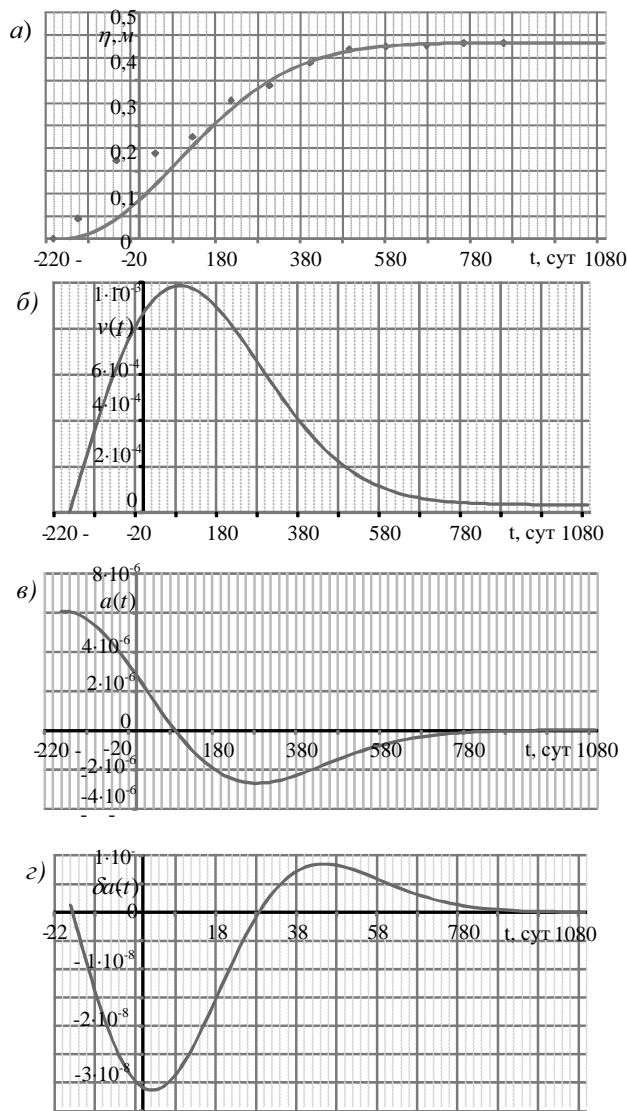


Рис. 2. Графическое представление развития оседаний земной поверхности во времени на примере точки Р4 (рис. 1): а) кривая оседаний; б) кривая скорости оседаний; в) кривая ускорения оседаний; г) кривая изменения ускорения

Для определения длительности активного периода оседаний земной поверхности удобно воспользоваться функцией (4). В качестве начала активного процесса сдвижения принимается максимальное отрицательное значение скорости изменения ускоре-

ния  $\delta a(t)$ , а окончание рассматриваемого процесса соответствует нулевому значению изменения ускорения.

Зависимости, подобные приведенным на рис. 2, получены для каждого репера анализируемых замерных станций, а установленная длительность активного периода представлена в табл. 2. В табл. 2, кроме того, указана глубина разработки ( $H$ ) и местоположение точки относительно разрезной печи в долях от длины выемочного столба ( $S$ ).

Таблица 2

Результаты обработки экспериментальных данных

№ п/п	Точка	$\eta_k$ , мм	$\beta_1$	$t_0$ , сут	Активный период оседаний, сут			S, доли	H, м
					начало	окончание	$t_{акт}$		
1	P1	0,252	$1 \cdot 10^{-5}$	37	135	345	210	0,063	890
2	P2	0,4155	$1 \cdot 10^{-5}$	68	105	320	215	0,174	890
3	P3	0,3565	$1 \cdot 10^{-5}$	76	90	315	225	0,286	890
4	P4	0,433	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	0,397	890
5	P5	0,372	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	0,508	890
6	P6	0,397	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	0,619	890
7	P7	0,312	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	0,730	890
8	P8	0,219	$7 \cdot 10^{-6}$	175	30	285	255	0,841	890
9	P9	0,143	$1 \cdot 10^{-5}$	140	30	240	210	0,952	890
10	R1	0,3365	$1 \cdot 10^{-5}$	79	90	300	210	0,257	1030
11	R2	0,309	$1 \cdot 10^{-5}$	108	75	285	210	0,257	1030
12	V2	0,39	$8,5 \cdot 10^{-6}$	130	45	295	250	0,500	1100
13	C1	0,37	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	0,689	560
14	C2	0,403	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	0,722	565
15	C3	0,41	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	0,756	570
16	C4	0,398	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	0,789	575
17	C5	0,369	$2 \cdot 10^{-5}$	120	0	155	155	0,822	580
18	C6	0,35	$2,6 \cdot 10^{-5}$	110	0	140	140	0,856	585
19	C7	0,308	$2,7 \cdot 10^{-5}$	100	0	135	135	0,889	590
20	C8	0,254	$3,2 \cdot 10^{-5}$	100	0	120	120	0,922	595

Анализ полученных графиков позволил отметить следующие особенности процесса оседания земной поверхности. Начало процесса может как совпадать со временем подхода лавы к данной точке (это имеет место при подработке земной поверхности 4 восточной лавой шахты „Им. XIX съезда КПСС“), так и наблюдаться уже через некоторое время после прохода очистного забоя. Чем быстрее изменяются во времени оседания, то есть чем круче кривая (1), тем короче период активных оседаний, и наоборот. Вре-

мя начала процесса зависит также и от месторасположения точек относительно разрезной печи. Чем ближе проекция точки на почву пласта к разрезной печи, тем позже наблюдается активное сдвижение поверхности. В дальнейшем интервал между началом оси абсцисс и началом активного периода сокращается и стабилизируется (табл. 2).

В наибольшей степени на продолжительность активной стадии развития процесса влияет глубина разработки. На рис. 3 показано поле корреляции для анализа изменения длительности активного периода оседаний от глубины разработки месторождения. В выборку, кроме данных табл. 2, включена точка с координатами (240; 78), взятая по результатам исследований Л.Н. Гапановича.

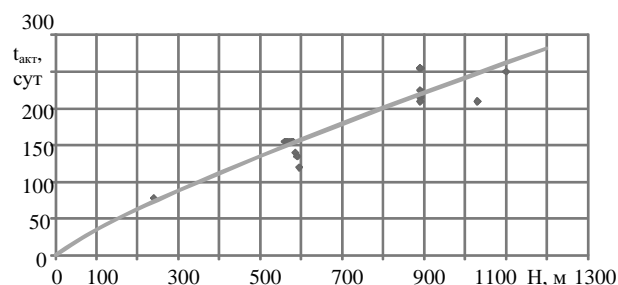


Рис. 3 Зависимость длительности активного периода оседаний от глубины разработки

Представленное корреляционное поле описывается степенной зависимостью, сут

$$t_{акт} = a \cdot H^b \quad (5)$$

Для нахождения параметров регрессии проведена ее линеаризация  $\ln(t_{акт}) = \ln(a) + b \cdot H$ , после чего методом наименьших квадратов определены значения коэффициентов и получено следующее уравнение регрессии

$$\ln(t_{акт}) = -0,314 + 0,84 \cdot H,$$

которое после потенционирования становится искомым уравнением регрессии, сут

$$t_{акт} = 0,73 \cdot H^{0,84} \quad (6)$$

Параметр  $b$  в степенной функции является коэффициентом ее эластичности, показывающим, на сколько процентов в среднем изменяется длительность активного периода оседаний, если глубина разработки изменится на 1%.

Индекс корреляции полученного уравнения регрессии равен 0,892, а индекс детерминации – 0,796, то есть вариация резульативного признака ( $t_{акт}$ ) на 79,6% объясняется вариацией глубины разработки ( $H$ ), а 20,4% приходится на долю других факторов, в том числе и на расстояние между проекцией точки земной поверхности на линию пласта от разрезной печи, мощность пласта и пр.

Линия регрессии хорошо приближает исходные данные, о чем свидетельствует средняя ошибка аппроксимации, равная 9,5%. Существенность уравнения регрессии в целом установлена по  $F$ -критерию Фишера  $F_{\text{расч}} = 17,45 > F_{\text{табл}} = 4,26$  при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

**Выводы.** Продолжительность процесса стабилизации горного давления на почву отработанного пласта, прежде всего, зависит от глубины разработки месторождения и может быть определена по эмпирической степенной зависимости (6). Существенность уравнения регрессии подтверждена по  $F$ -критерию Фишера со средней ошибкой аппроксимации (9,5%). Связь между показателями тесная, что показывает индекс корреляции (0,892) и индекс детерминации (0,796). На всей протяженности выемочного столба, при относительно постоянной скорости движения лавы, время стабилизации одинаково, кроме его краевых частей. Возле разрезной печи и у концевой части столба длительность рассматриваемого процесса, в среднем, на 15–20 суток короче. Кроме того, чем ближе репер к разрезной печи, тем позже начинается активная стадия оседания массива горных пород.

#### Список литературы / References

1. Зборщик М.П. Геомеханика подземной разработки угольных пластов / М.П. Зборщик, М.А. Ильяшов – Донецк.: ДонНТУ, 2006. – Т. 1. – 256 с.

*Zborshchik, M.P. and Ilyashov, M.A. (2006), Geomechanika podzemnoy razrabotki ugolnykh plastov [Geomechanics of Underground Mining of Coal Seams], Vol. 1, Donbas National Technical University, Donetsk, Ukraine.*

2. Гавриленко Ю.Н. Прогнозирование сдвижений земной поверхности во времени / Ю.Н. Гавриленко // Уголь Украины. – 2011. – № 6. – С. 45–49.

Gavrilenko, U.N. (2011), "Prediction of Crustal Movement in Time", *Ugol Ukrainy*, no. 6, pp. 45–49.

**Мета.** Визначення тривалості стабілізації гірського тиску у виробленому просторі на підставі аналізу процесу осідання відпрацьованої земної поверхні.

**Методика.** Отримані та проаналізовані натурні заміри осідань земної поверхні у часі. За результатами аналізу встановлена тривалість активної стадії зсувів. Застосований регресійний аналіз для отримання залежності часу стабілізації гірського тиску від загальних факторів, що впливають на нього.

**Результати.** Виявлені параметри логістичної функції, що описує осідання земної поверхні у часі при відносно постійній швидкості очисних робіт. Отримані швидкість процесу, його прискорення та швидкість прискорення як похідні різного рівня вказаної логістичної функції. На підставі аналізу графіків розвитку процесу осідання, що побудовані для кожного з реперів, виділені його стадії: початкова, активна та згасання. Встановлено, що тривалість активної стадії,

що дорівнює часу стабілізації гірського тиску, визначається, насамперед, глибиною розробки, причому цей зв'язок описується емпіричною ступеневою залежністю.

**Наукова новизна.** Полягає у встановленні тривалості процесу стабілізації гірського тиску у виробленому просторі через осідання земної поверхні. Встановлений взаємозв'язок між часом наростання тиску гірського масиву до рівня  $\gamma H$  (гідростатичного тиску) і глибиною розробки.

**Практична значимість.** Інформація про тривалість активної стадії зсувів підробленої товщі дозволить прийняти рішення щодо відставання підготовчих робіт від очисних, що забезпечить задовільний експлуатаційний стан виробки при проведенні її по обваленим породам.

**Ключові слова:** стабілізація гірського тиску, осідання земної поверхні, активний період осідання

**Purpose.** To determine the time of stabilization of rock pressure in the worked-out area through the analysis of undermined earth surface subsidence process.

**Methodology.** We have obtained and analyzed natural measurements of the earth surface subsidence in the course of time. On the base of the results of the analysis we have determined the duration of the stratum movement active stage. We have applied regression analysis to find out the correlation between the rock pressure stabilization time and basic factors influencing it.

**Findings.** We have determined the parameters of the logistic function describing earth surface subsidence in time when the speed of the extraction work is constant. We have obtained the speed of the process, its acceleration, and acceleration speed as derivatives of the different order of the indicated logistic function. Based on the charts of subsidence process progression, which were built for each benchmark, we have divided it on initial, active, and attenuation stage. It has been determined that the duration of the active stage, that equals the rock pressure stabilization time, depends, first of all, on depth. This relation is described by empirical power-law dependence.

**Originality.** We have determined the rock pressure stabilization time in worked-out area through the consideration of earth surface subsidence. The relation between the time period, required for rock massive pressure to reach the level  $\gamma H$  (hydrostatic pressure) and mine depth.

**Practical value.** Information about the duration of the active stage of the undermined massif subsidence will allow making the right decision about the delay time between preparation work and extraction work, which provides a good operational state of working driven in the broken-down rock.

**Keywords:** rock pressure stabilization; surface subsidence; period of active surface subsidence

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.М. Кузьменком. Дата надходження рукопису 18.04.13.*