

# РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК: 622.834.1

**В.И. Бондаренко**<sup>1</sup>, д-р. техн. наук, проф.,  
**М.В. Филатев**<sup>2</sup>,  
**Н.И. Антощенко**<sup>2</sup>, д-р. техн. наук, проф.

1 – Государственное высшее учебное заведение  
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,  
Украина, e-mail: v\_domna@yahoo.com  
2 – Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Украина, e-mail: mfilatev@gmail.com

## ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОВМЕСТНОГО СДВИЖЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ УГОЛЬНЫМИ ПЛАСТАМИ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**V.I. Bondarenko**<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
**M.V. Filatjev**<sup>2</sup>,  
**N.I. Antoshchenko**<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Tech.), Professor

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: v\_domna@yahoo.com  
2 – Donbass State Technical University, Alchevsk, Ukraine,  
e-mail: mfilatev@gmail.com

## PHYSICAL MODEL OF JOINT MOVEMENT OF ROCKS AND EARTH SURFACE UNDERMINED BY COAL BEDS

Определены главные факторы, влияющие на длительность процесса сдвижения и уплотнения пород. Произведена оценка общей продолжительности сдвижения подработанных пород и земной поверхности. Результаты могут быть использованы при решении отдельных задач горного производства и разработке мероприятий по безопасной отработке газоносных угольных месторождений, восстановлению выбросоопасности сближенных пластов, выбору оптимального месторасположения подготовительных выработок, расчетов водопритоков в шахту, восстановлению водного баланса, защите сооружений и объектов на земной поверхности и других важных вопросов, связанных с отработкой угольных пластов.

**Ключевые слова:** *напряженно-деформированное состояние массива, оседание пород, угольный пласт, выработанное пространство, физическая модель, подработанные породы*

Вопросам сдвижения подработанных угольными пластами пород и земной поверхности посвящен ряд научных трудов и нормативных документов. Каждая из известных работ относится к решению отдельной локальной задачи горного производства, которая учитывает особенности процесса сдвижения пород и (или) земной поверхности только на некоторой его стадии развития или затухания. К таким задачам относятся мероприятия по безопасной отработке газоносных угольных месторождений, восстановлению выбросоопасности сближенных пластов, выбор оптимального места расположения подготовительных выработок, расчет водопритоков в шахту, восстановление водного баланса, защита сооружений и объектов на земной поверхности и т.д.

Несмотря на важность и взаимосвязанность рассматриваемых вопросов, до настоящего времени не разработана общая физическая модель, учитывающая процессы сдвижения и уплотнения пород во времени и пространстве от начала опускания кровли в лаве, обрушения непосредственной и осадки основной кровель в выработан-

ном пространстве, достижения последующими сдвижениями земной поверхности и восстановления исходного природного состояния после уплотнения пород.

Одной из причин сложившейся ситуации является то, что при решении конкретных задач рассматриваются параметры сдвижения за некоторый период времени, который в большинстве случаев значительно меньше по сравнению с общей продолжительностью сдвижения пород и земной поверхности. Например, согласно нормативным документам, за начало сдвижения точки земной поверхности принимается дата, на которую оседание достигает 15 мм. За окончание процесса сдвижения принимается дата, после которой суммарные оседания на протяжении шести месяцев не превышают 10% максимальных, но не более 30 мм. При указанных ограничениях занижается общая продолжительность сдвижения, так как не учитывается разница во времени между началом очистных работ, осадкой непосредственной и основной кровель и сдвижением земной поверхности, а период уплотнения пород под мульдой и затухание процессов над остановленными очистными забоями нормативными документами не рассматриваются. Принятые допущения,

возможно, не имеют практического значения при защите сооружений и объектов на земной поверхности, но при решении других задач горного производства корректность такого подхода требует отдельных обоснований в каждом рассматриваемом случае.

Физическая модель позволяет обобщить и устранить имеющиеся недостатки в подходах к решению конкретных задач горного производства, поэтому актуальность ее разработки не вызывает сомнений.

Цель настоящей работы – установить на основании экспериментальных данных последовательность и особенности процессов сдвижения и уплотнения пород от разрабатываемого пласта до земной поверхности, выявить основные влияющие факторы на разных стадиях развития и затухания этих процессов, сделать количественную оценку общей продолжительности восстановления природного состояния пород и земной поверхности.

Идея работы состоит в последовательном рассмотрении параметров опускания непосредственной кровли в очистном забое, ее обрушения в выработанном пространстве, осадки основной кровли и дальнейшего развития процессов сдвижения пород до земной поверхности, а затем их уплотнения до восстановления горного давления (полного или частичного) в подработанном массиве. В качестве основных параметров, характеризующих эти процессы, приняли максимальное оседание подработанных пород и скорость его изменения во времени и пространстве от разрабатываемого пласта к земной поверхности. Такой подход позволяет судить о начале, развитии и полном окончании процессов оседания пород и земной поверхности в мульде сдвижения над выработанным пространством.

Напряженное состояние пород кровли, в большинстве случаев, не является постоянным даже в периоды времени, когда в лаве не ведутся производственные процессы, но, все же, к главному фактору, резко меняющему напряжение, относится выемка угля. Это подтверждается изменением скорости смещения боковых пород в зависимости от вида работ в лаве. Скорость опускания боковых пород при выемке угля достигает 3 мм/час. Согласно другим данным, опускание кровли после выемки угля происходило обычно со скоростью 30...40 и даже 100 мм/час. Интенсивное сдвижение наблюдалось, в основном, около часа, реже затягивалось на 2...3 часа и более.

Кроме технологических процессов на состояние пород кровли существенное влияние оказывает скорость подвигания очистного забоя. С ее ростом увеличивается пролет ослабленных пород (расстояние от забоя до линии соприкосновения кровли с ранее обрушенными породами или с почвой пласта при плавном опускании) и уменьшается угол наклона подработанной толщи. Об этом свидетельствует выполаживание мульды сдвижения на дневной поверхности. Влияние скорости подвигания очистного забоя подтверждается многолетним опытом безлюдной выемки камерами длиной 100...120 м, шириной 10...30 м [1]. Породы кровли удерживались угольными целиками шириной 1...10 м. Максимальная интенсивность смещения непосредственной кровли в средней части камеры, в зависимости от скорости подви-

гания забоя, изменялась в диапазоне 4...15 мм в сутки. Абсолютная величина опускания непосредственной кровли перед обрушением находилась в диапазоне 120...150 мм. Исходя из приведенных соотношений, период времени с момента обнажения непосредственной кровли до ее обрушения составлял 8...38 суток.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что параметры опускания непосредственной кровли в лаве и обрушения в выработанном пространстве являются величинами одного порядка. После обрушения непосредственной кровли в выработанном пространстве абсолютное ее опускание  $\eta_m$  равно мощности пласта ( $m$ ). С удалением от разрабатываемого пласта величина максимального опускания пород и земной поверхности уменьшается и составляет некоторую долю от  $m$ .

Статистическая обработка экспериментальных данных [2] показала, что при ведении очистных работ на глубине около 1000 м среднее значение  $\eta_m$  равно 0,15  $m$ . Существенно уменьшается и средняя скорость опускания пород и земной поверхности ( $\bar{U}$ ) при удалении подработываемых объектов ( $h$ ) от пласта (рис. 1).

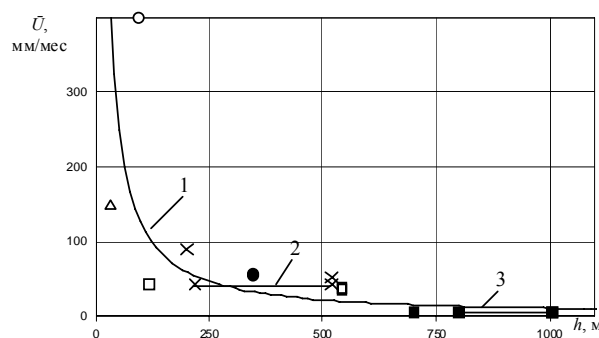


Рис. 1. Зависимость средней скорости опускания ( $\bar{U}$ ), за весь период наблюдений подработанных пород, земной поверхности и других объектов от расстояния ( $h$ ) до угольного пласта: 1 – усредняющая кривая; 2 – параллельное оседание реперов в скважине шахты „Ореховская“ на расстоянии 220...520 м от разрабатываемого пласта; 3 – параллельное оседание реперов в стволе шахты „Шахтерская-Глубокая“ на расстоянии 800...1005 м от разрабатываемого пласта; ● – скорость оседания ственных реперов кольцевых печей на земной поверхности при подработке шахтой „Нововольнская“; ○ – скорость оседания реперов земной поверхности при подработке шахтой „Павлоградская“; Δ – скорость оседания реперов в уклоне шахты №1 „Новгородовская“; × – скорость оседания реперов на земной поверхности, ходке и скважине, подработанных шахтой „Ореховская“; □ – скорость оседания реперов на земной поверхности, в устье и вблизи зумпфа ствола, подработанных шахтой „Глубокая“; ■ – скорость оседания реперов на земной поверхности и в стволе, подработанных шахтой „Шахтерская-Глубокая“

Такая зависимость, в первом приближении, удовлетворительно описывается уравнением, мм/мес

$$\bar{U} = 16399 \cdot h^{-1,06}.$$

Подтверждением этому является существенное значение теоретического корреляционного отношения  $R = 0,79$ , его достоверность  $m_R = 0,10$  и значимость  $t_R = 7,99$ .

За период наблюдений также установлено параллельное опускание реперов в подработанных скважинах и стволе при ведении очистных работ шахтами „Ореховская“ и „Шахтерская-Глубокая“. Это подтверждается одинаковой скоростью опускания реперов на участках, примыкающих к земной поверхности, соответственно на глубине 300 и 205 м (отрезки прямых 2 и 3). Параллельное опускание породных слоев общей мощностью 426 м было установлено в начальной стадии подработки ствола шахтой „Глубокая“. При дальнейшем развитии процессов сдвижения мощность параллельно опускающихся слоев уменьшилась до 200 м, так как смещения нижних реперов вблизи зумпфа ствола превышали опускание вышерасположенных (рис. 2). Эти процессы можно объяснить более интенсивным уплотнением нижних слоев пород за счет веса вышележащих. Факт параллельного смещения реперов подтверждается также результатами подработки скважин шахтой „Буланаш 2/5“ и ствола шахтой „Контарная“.

Экспериментальные данные о параллельном опускании породных слоев при их подработке приведены в таблице 1. Они свидетельствуют о том, что на процессы параллельного опускания подработанных породных слоев существенное влияние оказывает фактор времени.

Например, на шахте „Глубокая“ мощность параллельно опускающихся пород ( $M$ ) уменьшилась с 426 до 200 м, а абсолютное опускание ( $\eta_m$ ) увеличилось с 93 до 720 мм. Относительное опускание породных слоев  $\eta_m / m$  за этот период составило 0,63, что значительно меньше единицы и указывает на незавершенность процессов сдвижения и уплотнения пород за рассматриваемый период времени. Эти процессы проходят три стадии – начальную, интенсивного развития и затухания.

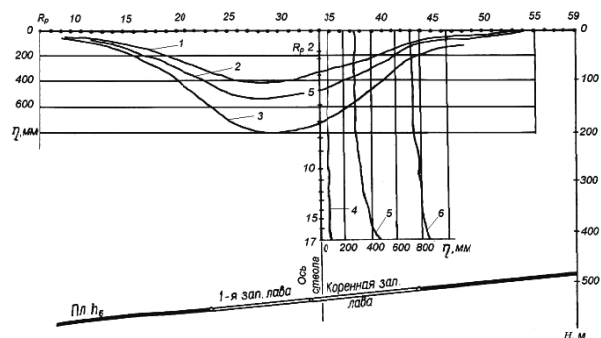


Рис. 2. Графики оседания реперов ( $R_p$ ) наблюдательной станции на вертикальном разрезе вкосте простирания при отработке пласта  $h_6$  шахтой „Глубокая“:  $H$  – глубина по оси ствола;  $\eta$  – оседание реперов земной поверхности и крепи ствола; 1, 2, 3 – кривые, характеризующие изменение мутьды сдвижения земной поверхности соответственно; 4, 5, 6 – кривые смещения реперов в крепи ствола соответственно

Таблица 1

Экспериментальные данные о параллельном оседании подработанных угольными пластами пород

Шахта, пласт	Мощность пласта $m$ , м	Глубина разработки $H$ , м	Расстояние от пласта до параллельно перемежающихся слоев		Мощность параллельно опускающихся слоев $M$ , м	Оседание породных слоев	
			$h$ , м	$h/m$ , доли		$\eta_m$ , мм	$\eta_m / m$ , доли
1	2	3	4	5	6	7	8
„Ореховская“, $k_2$	1,70	520	220	176	300	140	0,08
	1,70	220	220	176	300	280	0,16
	1,70	520	220	176	300	400	0,24
„Глубокая“, $h_6$	1,15	541	115	100	426	93	0,08
	1,15	541	341	297	200	283	0,25
	1,15	541	341	297	200	720	0,63
„Шахтерская-Глубокая“, $h_8$	1,30	1005	800	615	205	110	0,08
„Буланаш 2/5“, №23	1,70	124	44	26	80	1160	0,68
„Контарная“, $l_3$	1,40	170	60	43	110	154	0,11

Исходя из технических возможностей, наблюдения проводились практически на стадии интенсивного протекания процессов. К началу наблюдений фиксировались существенные опускания подработанных пород и земной поверхности  $\eta_m = 93...430$  мм, а скорость их сдвижения составляла 5...68 мм/мес. Максимальные значения этих параметров за период наблюдений для разных объектов находились,

соответственно, в пределах 100...1600 мм и от 5 мм/мес. до 100 мм/сут. Полный период наблюдений, в зависимости от решаемых задач и горно-геологических условий, составлял от четырех до двадцати месяцев. Наблюдения прекращались, когда средняя скорость оседания подработанных пород, земной поверхности и других объектов уменьшалась до 5...60 мм/мес. (рис. 3).

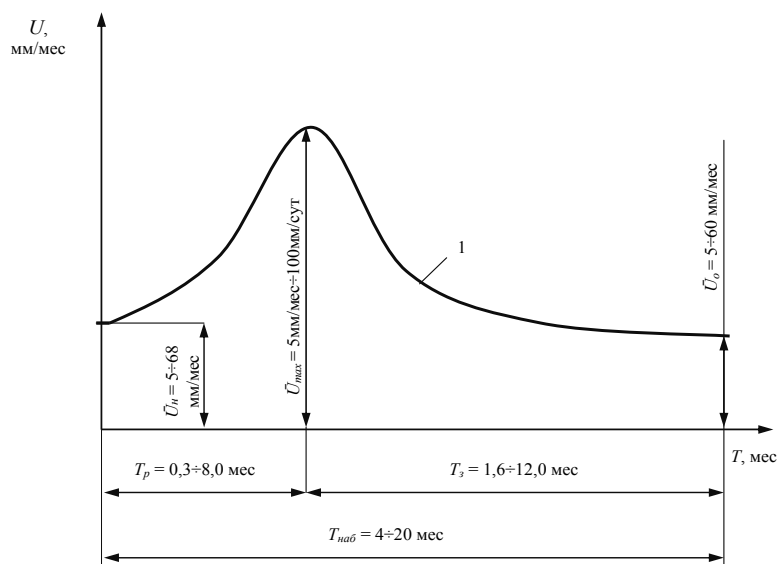


Рис. 3. Изменение абсолютной скорости опускания подработанных пород, земной поверхности и других объектов ( $U$ ) за время наблюдений ( $T$ ): 1 – характерная кривая изменения скорости оседания за время наблюдений;  $T_p$ ,  $T_z$  – соответственно периоды роста и затухания скорости оседания;  $T_{наб}$  – общий период наблюдения;  $\bar{U}_n$ ,  $\bar{U}_{max}$ ,  $\bar{U}_o$  – соответственно средние скорости оседания на начало наблюдений, достижения максимума и окончания наблюдений

Критерием восстановления исходного природного состояния пород может быть близость глубины плоского дна мульды сдвижения земной поверхности к величине  $m$ . Разница между  $m$  и текущими значениями максимального опускания объектов  $\eta_m$  в этом случае характеризует потенциальную возможность сдвижения пород на стадии затухания процессов. Используя экспериментальные данные о минимальной скорости опускания объектов  $\bar{U}_o$  при окончании наблюдений, определили возможную длительность процессов после прекращения наблюдений ( $T_o$ )

$$T_o = \frac{m - \eta_m}{\bar{U}_o}$$

Имея сведения о длительности наблюдения по отдельным объектам ( $T_{наб}$ ), оценили возможную общую продолжительность ( $T_{общ}$ ) процессов от начала их развития до восстановления природного состояния (табл. 2).

Таблица 2

Сведения об условиях проведения экспериментов и расчетные данные о возможной длительности процессов сдвижения и уплотнения пород ( $T_{общ}$ )

Шахта, пласт	$m$ , м	$h$ , м	$\eta_m$ , мм	$\bar{U}_o$ , мм/мес.	Длительность процессов, мес		
					$T_o$	$T_{наб}$	$T_{общ} = T_o + T_{наб}$
1	2	3	4	5	6	7	8
„Нововолынская“, $n_8$	1,50	345	722	18	43,2	13,0	56,2
	1,50	345	755	25	29,8	13,0	42,8
„Павлоградская“, $C_8$	2,10...2,20	94	1600	400*	1,4	4,0	5,4
„№1, Новогродовская“, $k_8$	1,00	33	820	60	3,0	5,5	8,5
„Ореховская“, $k_2$	1,70	520	465	15	82,3	9,0	91,3
	1,70	200	800	35	25,7	9,0	34,7
	1,70	220...520	400	30	43,3	9,0	52,3
„Глубокая“, $h_6$	1,15	541	800	17	20,6	20,0	40,6
	1,15	541	720	36	11,9	20,0	31,9
	1,15	115	860	32	9,1	20,0	29,1
„Шахтерская-Глубокая“, $h_8$	1,30	1005	107	6	198,8	19,6	228,4
	1,30	1005	100	5	240,0	19,6	259,6
	1,30	1005	123	6	196,2	19,6	225,8

Примечание: \* – средняя скорость опускания за период наблюдений.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что одним из главных факторов, определяющим величину  $T_{общ}$ , является расстояние до подрабатываемого объекта ( $h$ ). При значениях  $h$  менее ста метров  $T_{общ}$  оценивается в пределах 5...9 месяцев, а при  $h$  более 1000 м – длительность процессов

сдвигения и уплотнения пород может составлять более двадцати лет.

Обобщив особенности изменения параметров сдвигения подработанных пород ( $\eta_m, \eta, \bar{U}, \bar{U}_o$ ) во времени и пространстве, предложена физическая модель полного цикла процессов от начальной стадии их развития до полного завершения (рис. 4).

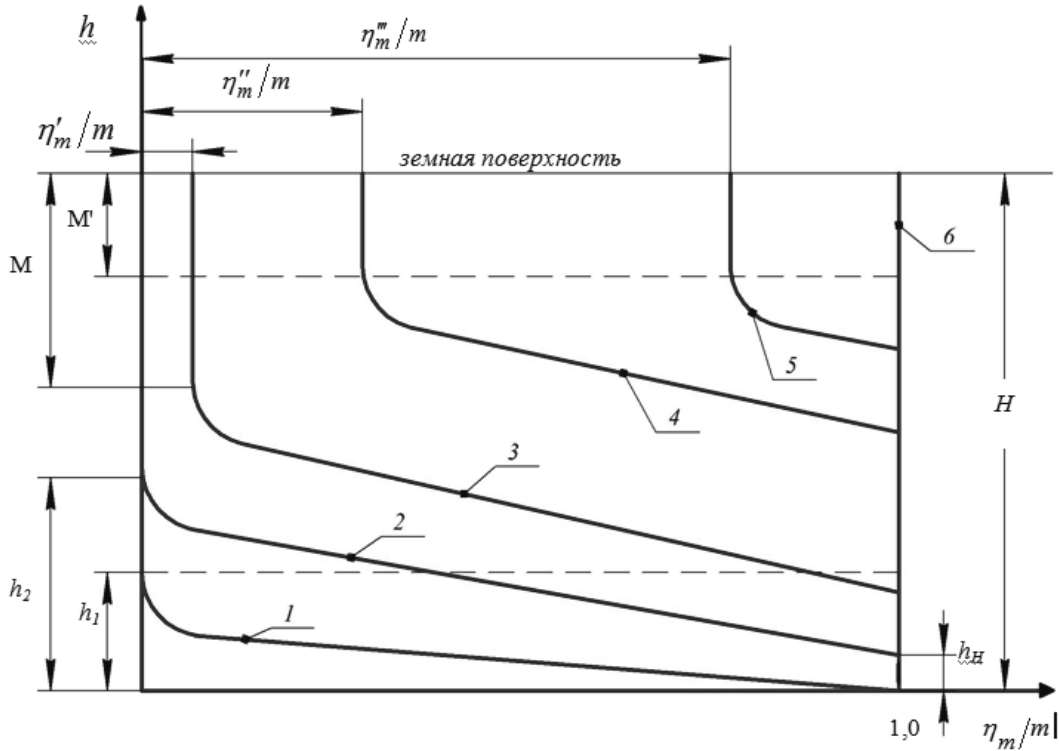


Рис. 4. Схема физической модели сдвигения подработанных пород и земной поверхности в координатах относительно опускания ( $\eta_m / m$ ) и расстояния до подрабатываемого объекта ( $h$ )

Ключевыми моментами этой модели являются:

- на стадии ведения очистных работ с удалением от выработанного пространства к земной поверхности уменьшаются значения  $\eta_m$  и  $\bar{U}$ . Чем ближе расположены слои пород к пласту, тем более интенсивно происходят процессы их сдвигения, которые заканчиваются раньше по отношению к сдвигению вышерасположенных слоев;
- после обрушения или опускания непосредственной кровли на почву пласта в выработанном пространстве начинается ее уплотнение после осадки основной кровли. Данному этапу ведения очистных работ соответствует кривая 1. Опускание непосредственной кровли равно мощности пласта ( $\eta_m / m = 1$ ), а сдвигение вышерасположенных слоев с удалением от пласта уменьшается. На расстоянии  $h_1$ , равном общей мощности непосредственной и основной кровель, значение  $\eta_m / m$  на этой стадии развития процессов равно нулю;
- после осадки основной кровли сдвигение распространяется до некоторого слоя пород, расположенного на расстоянии  $h_2$ . Одновременно с этими

процессами начинается уплотнение слоя  $h_H$  обрушившейся непосредственной кровли. До достижения процессов сдвигения земной поверхности продолжается уплотнение породных слоев непосредственной и основной кровель. Этому периоду развития соответствует кривая 2;

– при начальном сдвигении земной поверхности может происходить параллельное опускание породных слоев мощностью  $M$ . Возможность таких процессов определяется соотношением мощности пласта ( $m$ ) и глубины его залегания, а также прочностными свойствами пород. В этот период начинает формироваться мульда сдвигения земной поверхности, максимальному опусканию которой ( $\eta'_m / m$ ) соответствует кривая 3. Согласно экспериментальным данным, при выемке пласта на глубине 530...636 м, в зависимости от скорости подвигания очистного забоя, сдвигение земной поверхности происходило через 7...23 суток после осадки основной кровли;

– окончанию формирования мульды сдвигения земной поверхности, связанной с развитием очистных работ, соответствует кривая 4. На этой стадии макси-

мальное опускание  $\eta_m''/m$  соответствует значениям, зафиксированным за время наблюдений. Мощность параллельно опускающихся породных слоев может несколько уменьшиться до значения  $M'$ ;

– после формирования мульды сдвижения на земной поверхности начинается процесс уплотнения пород практически всей подработанной толщи. В зависимости от степени подработанности, окончанию процессов сдвижения и уплотнения пород могут соответствовать кривая 5 или отрезок прямой 6. При неполной подработке  $\eta_m'''/m < 1$ , а при полной – глубина плоского дна мульды сдвижения, после окончания процессов, может приближаться к мощности пласта ( $\eta_m'''/m \approx 1$ ).

Анализ известных экспериментальных данных и статистическая их обработка позволили разработать физическую модель совместного сдвижения пород и земной поверхности, подработанных угольными пластами. На основании проведенных исследований установлены факторы, влияющие на длительность процессов сдвижения и уплотнения пород на разных стадиях развития процессов. Главными определяющими факторами процессов сдвижения на стадии от начала очистных работ до формирования мульды на земной поверхности являются: мощность разрабатываемого пласта ( $m$ ), глубина его залегания ( $H$ ), мощность и прочностные свойства ( $f$ ) как непосредственной и основной кровель, так и вышерасположенных слоев пород, геометрические размеры ( $D_1, D_2$ ) очистной выработки (выработанного пространства) и скорость подвигания очистного забоя ( $v_{oc}$ ).

Период времени с момента обнажения непосредственной кровли до ее обрушения составлял 8...38 суток, после осадки основной кровли сдвижения пород достигали земной поверхности через 7...23 суток. Время формирования мульды сдвижения земной поверхности под влиянием развития очистных работ является функцией  $m, H, f, D_1, D_2, v_{oc}$ . В рассмотренных горно-геологических условиях оно составляло от четырех до двадцати месяцев. После формирования мульды сдвижения существенно уменьшается влияние факторов, непосредственно связанных с параметрами очистных работ ( $m, v_{oc}, D_1, D_2$ ), и увеличивается значимость факторов, определяющих длительность процессов уплотнения пород ( $H, f$ ). Под влиянием уплотнения увеличивается глубина мульды сдвижения до  $\eta_m'''/m$ . Ориентировочная длительность этих процессов, в зависимости от горно-геологических условий, может составлять от одного до 240 месяцев. По оценке (несколько заниженной) возможная общая продолжительность процессов сдвижения пород и земной поверхности от начала их развития до полного окончания может составлять двадцать и более лет.

## Список литературы / References

1. Кулибаба С.Б. Подработка вертикального ствола в условиях объединения „Шахтерскуголь“ / С.Б. Кулибаба, С.В. Голдин, А.Ф. Крюченков // Уголь Украины. – 1993. – №12. – С. 39–41.

*Kulibaba S.B. Vertical shaft undermining in conditions of "Shakhterskugol" / S.B. Kulibaba, S.V. Goldin, A.F. Kryuchenkov // Ugol Ukrainy. – 1993. – No.12. – P. 39–41.*

2. Филатьев М.В. Влияние глубины ведения очистных работ на максимальное сдвижение земной поверхности при отработке угольных пластов / М.В. Филатьев, Н.И. Антощенко, С.Л. Сятковский // Школа підземної розробки – IV Міжнародна науково-практична конференція 12–18 вересня 2010 року. – Дніпропетровськ, НГУ. – 2010. – С. 39–45.

*Filat'yev M.V. Mining depth influence on maximal dislocation of land surface during coal seams mining / M.V. Filatyev, N.I. Antoshchenko, S.L. Svyatkovskiy // School of underground mining – IV International theoretical and practical conference September 12–18, 2010. – Dnipropetrovsk, NGU. – 2010. – P. 39–45.*

Визначено головні чинники впливу на тривалість процесу зрушення і ущільнення порід. Здійснена оцінка загальної тривалості зрушення підроблених порід і земної поверхні. Результати можуть бути використані при вирішенні окремих завдань гірського виробництва і розробці заходів щодо безпечного відробітку газонесних вугільних родовищ, відновлення викидонебезпечних пластів, що зближені, вибору оптимального місцерозташування підготовчих виробок, розрахунків водоприпливів у шахту, відновленню водного балансу, захисту споруд і об'єктів на земній поверхні та інших важливих питань, пов'язаних з відробленням вугільних пластів.

**Ключові слова:** *напружено-деформований стан масиву, осідання порід, вугільний пласт, вироблений простір, фізична модель, підроблені породи*

Main factors influencing on the duration of rock movement and compression process are ascertained. Overall duration of shifting of the undermined rocks and earth surface is estimated. Results can be used for solution of some tasks of mining production and for development of measures of safe mining of gas-bearing coal deposits, recovery of layers bearing burst hazard, selection of optimum locations for development workings, calculations of water inflow in mines, renewal of water balance, protection of buildings and objects on the earth surface, and other important problems concerning development of coal beds.

**Keywords:** *stress-strain state of massif, rock subsidence, coal seam, mined out area, physical model, undermined rocks*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Бузилом. Дата надходження рукопису 25.04.11*