

Кандидаты техн. наук А.Т. Курносов,  
С.А. Курносов, И.Н. Слащев,  
инженер В.В. Задерий  
(ИГТМ НАН Украины)

инженер Г.И. Горбачев (шахта «Нестор»)

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПУЧЕНИЯ ПОЧВЫ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ**

Наведені результати експериментальних досліджень впливу гірничо-геологічних та гірничотехнічних факторів на інтенсивність здимання підшоши підготовчих виробок.

## **REGULARITIES FLOOR HEAVING IN DEVELOPMENT WORKINGS**

The brought results over of experimental researches of mining-and-geological and mining factors on intensity of hoist floor in development workings.

Одной из основных проблем поддержания подготовительных выработок на угольных шахтах Украины является борьба с пучением их почвы. Обострение данной проблемы в последнее время связано, в первую очередь, с постоянным увеличением глубины разработки. Высокое горное давление усугубляет влияние негативных геологических и технологических факторов. Низкая прочность вмещающих пород, их склонность к размоканию, высокое газовое давление, влияние способов проходки выработок и самого процесса угледобычи приводит к разрушению крепи и переходу выработок в непригодное для дальнейшей эксплуатации состояние. Причем, при определенном сочетании влияющих факторов, доля пучения почвы в общей вертикальной конвергенции достигает 80 %. К настоящему времени разработано множество способов и средств борьбы с пучением, однако эффективное их применение возможно только при индивидуальном подходе для определенных типов условий [1, 2]. В связи с этим, разработка данных шахтных экспериментальных исследований степени влияния отдельных факторов на состояние почвы подготовительных выработок позволит более эффективно применять комплексы мероприятий по повышению их устойчивости.

Замеры смещений пород боков и почвы осуществляли на различных участках горных выработок, находящихся как в зоне, так и вне зоны влияния очистных работ. Закономерности проявления горного давления, распределение напряжений и трещиноватости в почве и боках подготовительных выработок изучали на шахтах производственного объединения «Укрзападуголь», отличающихся физико-механическими свойствами вмещающих пород, глубиной разработки, способами проходки и охраны выработок, степенью обводненности, особенностями ведения очистных работ и др.

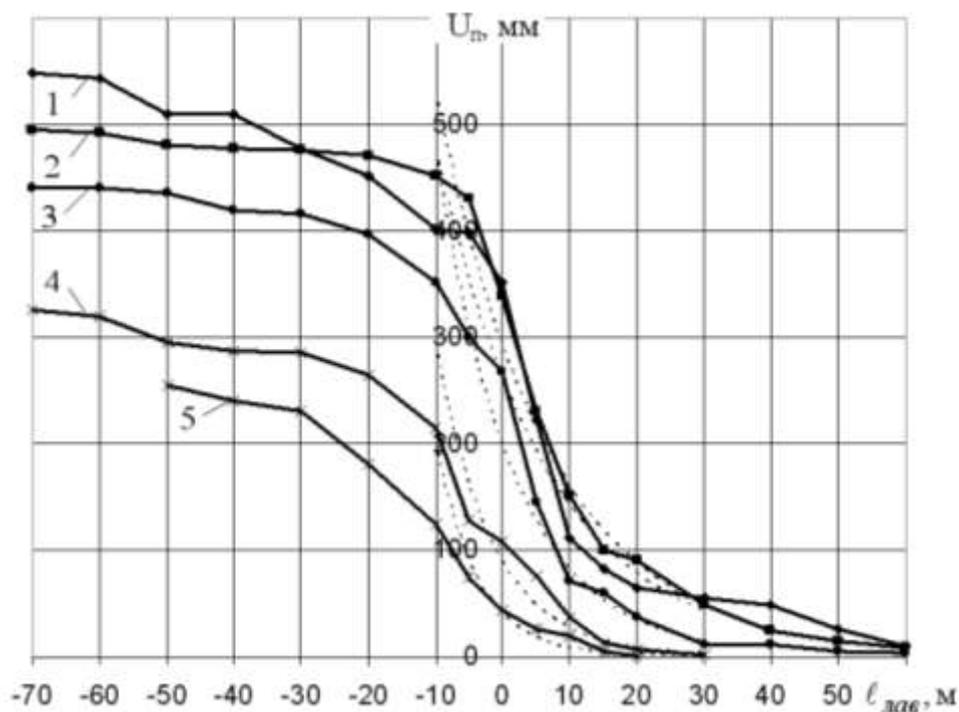
Исследования проводили в соответствии с разработанной программой и методикой экспериментальных исследований устойчивости боков и почвы горных выработок [3] без мероприятий по поддержанию почвы и боков выработки в зоне и вне зоны влияния очистных работ. Для установления общих закономерностей пучения почвы, исследования проводили по группе шахт ПО «Укрзападуголь» с различными способами проведения подготовительных выработок и

скоростью подвигания очистного забоя.

При изучении величин пучения почвы в выработках, подверженных влиянию очистных работ, измерения на реперных станциях осуществлялись по мере приближения и затем удаления забоя лавы. Величина пучения определялась как среднее показаний левого (со стороны лавы) и правого реперов (рис. 1). Точность измерений составляла 1,0 мм.

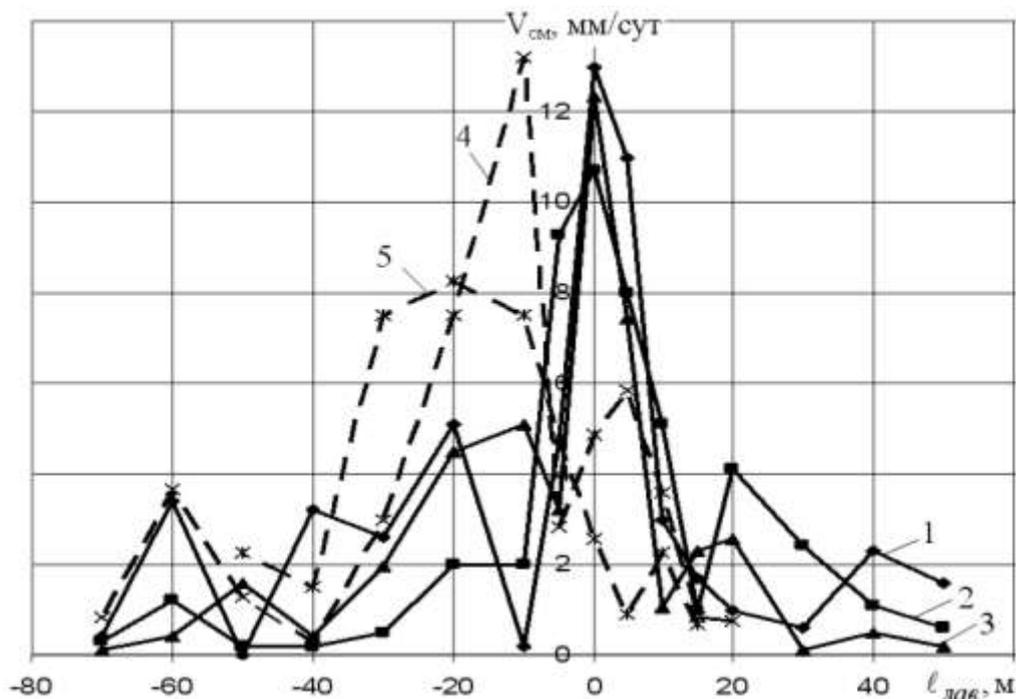
Средняя скорость подвигания очистного забоя на шахтах № 1 «Великомостовская», № 5 «Великомостовская» и № 9 «Нововолынская» (условно обозначим их группой № 1) составляла 1 м/сут.

Анализ смещений почвы на данных шахтах показал (рис. 1, кривые 1-3), что влияние лавы на выдавливание почвы выработки на расстоянии 60-20 м сказывается незначительно – смещения возрастают монотонно до 40-90 мм; на расстоянии от 20 м до замерной станции до -10 м после прохода лавы, участок выработки попадает в зону временного опорного давления, смещения резко возрастают и достигают 350-450 мм (рис. 1, 2 кривые 1-3); затем интенсивность смещений снижается и за время удаления лавы до 70 м от замерной станции их приращение в среднем составляет около 50 мм. Максимальное пучение после прохода лавы на данных шахтах достигало 440-550 мм.



1 – № 1 «Великомостовская»; 2 – № 5 «Великомостовская»; 3 – № 9 «Нововолынская»;  
4 – № 8 «Великомостовская»; 5 – № 2 «Червоноградская»

Рис. 1 – Зависимость усредненных пучений от расстояния до забоя лавы.



1 – № 1 «Великомостовская»; 2 – № 5 «Великомостовская»; 3 – № 9 «Нововолынская»; 4 – № 8 «Великомостовская»; 5 – № 2 «Червоноградская»

Рис. 2 – Зависимость скорости пучения от расстояния до забоя лавы.

На шахтах № 8 «Великомостовская» и № 2 «Червоноградская» (группа № 2) скорость продвижения очистного забоя составляла в среднем 1,5 м/сут. Влияние лавы начало сказываться приблизительно за 15 м до измерительных станций (рис. 1, 2 кривые 4, 5). Ко времени подхода лавы на уровень станций, смещения почвы выросли с 10-15 мм до 50-100 мм с дальнейшим возрастанием скорости пучения.

В зоне влияния опорного давления лавы пучение почвы на всех пяти шахтах аппроксимируется экспоненциальными зависимостями от расстояния до забоя:

$$\text{№ 1 «Великомостовская»} - U_n = 260,04e^{-0,0605 \ell_{\text{лав}}}, R^2 = 0,9241;$$

$$\text{№ 5 «Великомостовская»} - U_n = 290,42e^{-0,0602 \ell_{\text{лав}}}, R^2 = 0,9796;$$

$$\text{№ 9 «Нововолынская»} - U_n = 196,84e^{-0,088 \ell_{\text{лав}}}, R^2 = 0,9707;$$

$$\text{№ 8 «Великомостовская»} - U_n = 87,881e^{-0,1204 \ell_{\text{лав}}}, R^2 = 0,9696;$$

$$\text{№ 2 «Червоноградская»} - U_n = 39,667e^{-0,1625 \ell_{\text{лав}}}, R^2 = 0,8726.$$

При сопоставлении условий отработки угольных пластов на шахтах № 1 «Великомостовская», № 5 «Великомостовская» и № 9 «Нововолынская» условиями на шахтах № 8 «Великомостовская» и № 2 «Червоноградская» видно, что при практически одинаковых горно-геологических и горнотехнических параметрах, основным и самым весомым различием является скорость продвижения очистного забоя, составляющая соответственно 1 м/сут. и 1,5 м/сут. При этом характер и величина деформирования почвы на шахтах 1-ой и 2-ой групп имеют существенные отличия. В группе № 1 смещения начинают расти за 20-30 м до подхода лавы и максимальной скорости (11-13 мм/сут.) достигают в момент нахождения забоя лавы в створе с измерительными станциями, а после

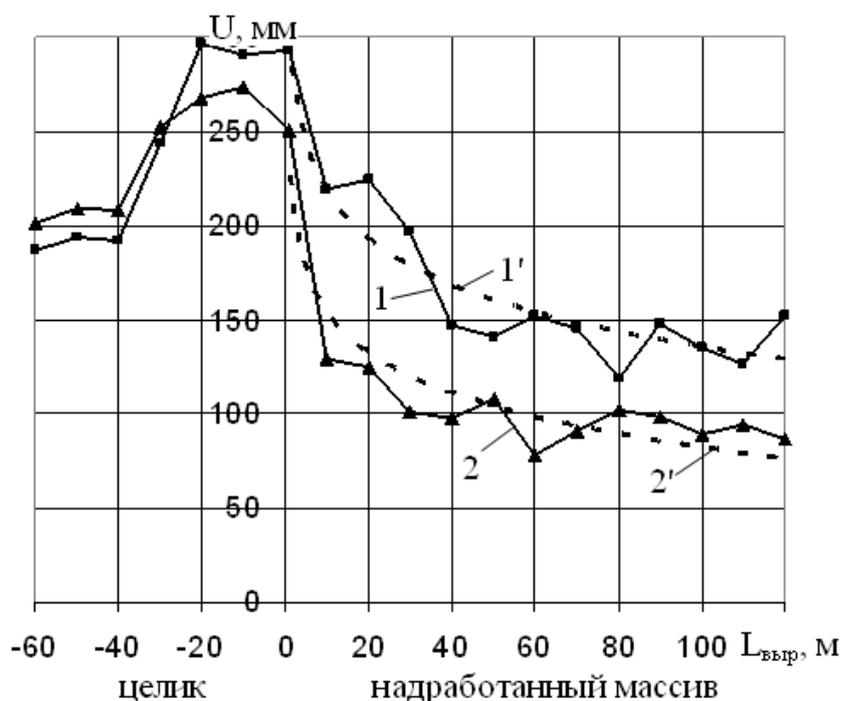
прохода отметки -10 м средняя скорость пучения резко падает до уровня 3 мм/сут. В группе № 2 совсем иная ситуация – максимальной скорости (8-13 мм/сут.) смещения достигают после прохода лавы на расстояние -5 – -30 м. Таким образом, можно сделать вывод, что с увеличением скорости ведения очистных работ пучение почвы подготовительных выработок значительно снижается и создаются более благоприятные условия для их поддержания. Данный факт объясняется реологией вмещающих выработку пород, процесс деформирования пород почвы запаздывает при увеличении скорости продвижения забоя лавы, кроме того, продолжительность активного влияния зоны временного опорного давления уменьшается (рис. 1, 2 кривые 4, 5).

На шахте № 9 «Нововолынская» в 42-ом северном конвейерном штреке пласта  $n_7^6$  исследованы смещения кровли и почвы выработки на 40-е сутки после ее проведения, т.е. в установившийся период (рис. 3). 120 м исследуемого участка штрека пройдено в надработанном лавой пласта  $n_8$  массиве (часть графика справа от оси ординат), а 60 м – в нетронутым массиве (слева от оси ординат). Мощность междупластья – 9-10 м; вынимаемая мощность пласта  $n_7^6$  – 1,45 м; в кровле – сланец глинистый мощностью 2-8 м, песчаник – 1,2-1,8 м, песчаный сланец – 1,2-1,6 м. Штрек пл.  $n_7^6$  пройден после отработки пласта  $n_8$  лавами по падению.

На рисунке явно прослеживается влияние стационарного опорного давления от краевой части пласта  $n_8$  на конвергенцию штрека – в интервале от -30 до 30 м от нормали смещения возрастают в 1,5-2 раза. На участке штрека, расположенном в нетронутым массиве, смещения кровли и почвы составляют приблизительно по 50 % от общей вертикальной конвергенции, а в надработанном массиве преобладает пучение почвы (приблизительно на 30 %), что объясняется значительно сниженным давлением вышележащих пород на кровлю выработки, а также наличием в почве глинистых сланцев. Вертикальная конвергенция штрека в надработанном массиве на 40 % меньше, чем в нетронутым, что является подтверждением более благоприятных условий поддержания выработки в разгруженной зоне [4-6]. При этом смещения почвы и кровли аппроксимируются логарифмическими зависимостями:

$$U_n = -35,709 \ln(L_{\text{выр}}) + 299,95, \quad R^2 = 0,886;$$

$$U_{\text{кр}} = -31,361 \ln(L_{\text{выр}}) + 226,57, \quad R^2 = 0,873.$$



1, 2 – смещения, соответственно, почвы и кровли выработки;  
 1' 2' – аппроксимирующие кривые смещений, соответственно, почвы и кровли  
 надработанной выработки

Рис. 3 – Смещения почвы и кровли по длине 42-го северного конвейерного штрека пласта  $n_7^6$  шахты № 9 «Нововолынская».

Следует отметить, что влияние мелкоамплитудных нарушений ( $A=0,2-0,6$  м) в пласте  $n_8$  не отразилось на конвергенции 42-го конвейерного штрека пл.  $n_7^6$ .

Исследования влияния способа проведения одиночной подготовительной выработки и процесса подрывки пород почвы на ее состояние с течением времени проводились в выработках шахты №8 «Нововолынская». Измерительные станции закладывались вслед за забоем штреков, проводимых буровзрывным способом или комбайном ШБМ, а также после подрывки почвы и перекрепления выработки. Замеры смещений в штреках осуществляли в течение двух лет: в первый период (10-15 дней) ежедневно, во второй (2-3 месяца) один раз в неделю, а затем один раз в месяц.

Анализ результатов инструментальных исследований показал, что пучение почвы в одиночных штреках происходит вслед за их проведением и с течением времени скорость смещений вначале быстро, а затем монотонно снижается. Наиболее интенсивное пучение происходило в первый месяц после обнажения массива. В штреках, проведенных буровзрывным способом, пучение за этот период составило 55-60 % (в выработках с неустойчивой кровлей – 75-78 %), а в штреках, пройденных комбайном ШБМ, – 50-56 % от общей величины смещений почвы за два года наблюдений.

После подрывки почвы отмечено три периода ее состояния: период интенсивных пучений, который длится 3-5 недель и охватывает участок до 50 м от забоя выработки (активная фаза пучения); период медленного затухания, длится 1-2 месяца, расстояние от забоя – 100-200 м (затухающая фаза); стабилизация пучения на уровне до подрывки почвы с постепенным наращиванием ин-

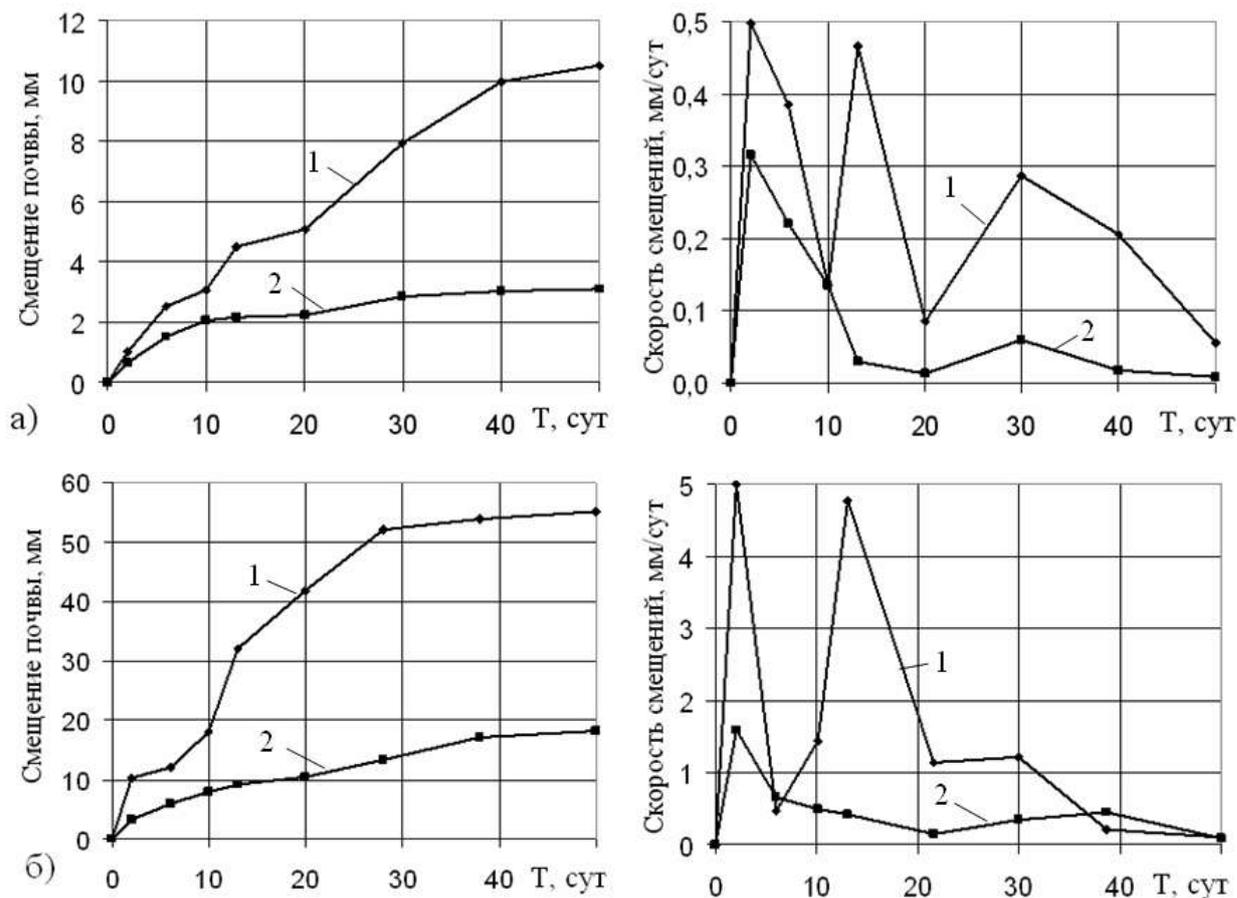
тенсивности на участках с осложняющими факторами (увеличение проявлений горного давления, влагонасыщение), приводящими к ослаблению межслоевых связей пород. Интенсивность проявления пучения в каждой фазе в наибольшей степени зависит от вещественного состава пород, характеризующегося количественным соотношением глинистого материала в аргиллитах и алевролитах, их способностью к влагонасыщению.

Исследование влияния технологического процесса подрывки почвы горных выработок на характер ее дальнейшего деформирования при отсутствии влияния очистных работ проводилось на шахте «Бужанская» в главном северном и восточном откаточных штреках с площадью поперечного сечения вчерне  $11,8 \text{ м}^2$ , пройденных на глубине 140 м в почве угольного пласта  $n_8$ . Горно-геологические и горнотехнические условия данных выработок практически идентичны. В непосредственной почве выработки залегает алевролит средней устойчивости ( $\sigma_{сж} = 27,2 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_p = 3,47 \text{ МПа}$ ), ниже – слой аргиллита мощностью до 1,2 м ( $\sigma_{сж} = 61,3 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_p = 4,64 \text{ МПа}$ ), далее расположен песчаник ( $\sigma_{сж} = 101,8 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_p = 5,48 \text{ МПа}$ ). Измерения смещений почвы в северном откаточном штреке (ПК 25) осуществлялись до проведения поддирочных работ, а в восточном (ПК 77) – после. Такая постановка эксперимента позволила максимально снизить количество факторов, оказывающих воздействие на устойчивость выработки, и, тем самым, акцентировать внимание на изменении интенсивности пучения почвы с течением времени в выработках, подвергшихся и не подвергшихся воздействию поддирочных механизмов.

Установлено, что до проведения поддирочных работ (рис. 4, а) пучение почвы выработки на протяжении всего срока наблюдений (50 суток) имели равномерный монотонный характер и суммарное смещение верхнего (алевролит) и нижнего (алевролит-аргиллит) слоев почвы не превысило 14 мм.

После поддирки почвы наступает период интенсивных смещений с последующим их затуханием (рис. 4, б). Из рисунка видно, что активная фаза смещений, длится порядка 3 недель, затухающая – до 1-1,5 месяцев, и далее – пассивная фаза. В период активной фазы максимальную интенсивность имеют смещения верхнего слоя почвы выработки, в затухающую – она снижается в 4-5 раз, зато скорость смещений нижнего слоя находится на одном уровне на протяжении 1,5 месяцев.

Результаты исследований показывают, что после поддирки почвы в интенсивный и затухающий периоды деформирования, интенсивность смещений возрастает в 5-10 раз.



а – в северном откаточном штреке (до подделки пород почвы);  
 б – в восточном откаточном штреке (после подделки пород почвы)  
 1 – смещение верхнего слоя почвы (алевролит);  
 2 – смещение нижнего слоя почвы (алевролит-аргиллит)  
 Рис. 4 – Пучение пород почвы на шахте «Бужанская» с течением времени.

В результате подделки пород почвы горных выработок нарушается установившееся с течением времени равновесие. После снятия верхнего слоя обнаженных пород снижается противодействие вертикальным напряжениям, действующим в почве выработки, интенсивность выпучивания возрастает, увеличиваются горизонтальные смещения от краевых частей к центру выработки. В результате участки массива в кутках почвы выработки частично разгружаются от горного давления, что влечет за собой вдавливание ножек крепи. При таком механизме деформирования интенсивность смещений значительно возрастает и длится это до тех пор, пока напряжения на контуре выработки не придут в относительно равновесное состояние. В дальнейшем процесс пучения протекает монотонно в зависимости от реологических свойств пород и возрастание интенсивности пучения может происходить только под воздействием дополнительных технологических факторов (влияние очистных работ, увлажнение пород почвы при бурении дегазационных скважин и т.п.).

Таким образом, экспериментальными исследованиями установлено:

– увеличение скорости очистных работ на 50 % снижает среднюю величину смещений почвы на 40 %, при этом пик интенсивности пучения «запаздывает» и проявляется на расстоянии порядка 20 м за лавой, в зоне влияния опорного

давления лавы пучение почвы аппроксимируется экспоненциальными зависимостями от расстояния до забоя;

– поддирка почвы интенсифицирует ее смещения, при этом выделено три фазы деформирования: в активную фазу, длящуюся порядка 3-4 недель, интенсивность смещений возрастает до 10 раз; в затухающую (до 1-1,5 месяцев) – в 5 раз, а далее, в фазу стабилизации – устанавливается на уровне до поддирки;

– предварительная надработка снижает вертикальную конвергенцию выработки до 40 %, при этом, по мере удаления от целика смещения кровли и почвы уменьшаются по логарифмическим зависимостям.

Установленные закономерности влияния отдельных горно-геологических и горнотехнических факторов на устойчивость почвы подготовительных выработок позволят определять комплекс необходимых и достаточных мероприятий по эффективной охране подготовительных выработок в конкретных условиях их заложения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курносов А.Т. Геомеханическое обоснование устойчивости почвы выработок / А.Т. Курносов, С.А. Курносов, И.Н.Слашев [и др.] Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: Матер. 21 межд. Научн. Школы. им. С.А. Христановича. – ТНУ. – Симферополь. – 2011 – с.200-202.

2. Курносов С.А. Опытнo-промышленные испытания крепления почвы выработки стеклопластиковыми анкерами / С.А. Курносов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 94. – С. 110-115.

3. Отчет о НИР № 78. Научные основы управления и контроля устойчивости боков и почвы горных выработок с анкерным креплением нового технического уровня. – Часть 2. – 2004 г.

4. Зорин Л.Ф. Изучение пучения горных пород в штреках шахты № 8 «Нововолынская» / Л.Ф. Зорин, Г.В. Кузькин, И.С. Дышкант [и др.] // Уголь. – 1969. – № 5. – С. 13–14.

5. Зорин Л.Ф. Пучение пород на шахтах Волынского месторождения // Проектирование и строительство угольных предприятий. – ЦНИИТЭИуголь. – 1964. – № 61. – С. 21–25.

6. Курносов С.А. Научно-технические принципы эффективного заложения полевой газообразной выработки / С.А. Курносов // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. 2011. – Вып 95. – с.85-90

**УДК 622.236.4.001.1**

Д-р техн. наук В. П. Куринной,  
канд. физ.-мат. наук И. П. Гаркуша  
(Государственный ВУЗ «НГУ»)

#### **УРАВНЕНИЕ АДИАБАТЫ ДЛЯ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА С ДОБАВКАМИ**

Одержано рівняння адиабати для продуктів детонації вибухових речовин та продуктів вибуху з домішками і виконано порівняння роботи продуктів вибуху, що визначаються адиабатами для продуктів детонації вибухових речовин і для газу Ван-дер-Ваальса.

#### **THE ADIABATI EQUALIZATION FOR PRODUCTS OF DETONATION EXPLOSIVES AND PRODUCTS OF EXPLOSION WITH ADDITIONS**

Equalization of adiabatic is got for the products of detonation of explosives and products of explosion with additions and comparison of work of products of explosion is executed, determined adiabatic for the products of detonation of explosives and for the Van-der-Vaalsa gas.

Одним из путей повышения эффективности взрыва скважинного заряда является повышение запирающих свойств забойки. Для этих целей весьма пер-