

М.СНУДЕК<sup>1</sup>, С.Г.НЕГРЕЙ<sup>2</sup>, Г.И.СОЛОВЬЕВ<sup>3</sup>,  
Я.А.ЛЯШОК<sup>4</sup>, В.А.БУДИШЕВСКИЙ<sup>5</sup>, В.Е.НЕФЕДОВ<sup>6</sup>,  
Б.П.ИВАНОВ<sup>7</sup>, А.Т.КУЧЕР<sup>8</sup>, В.Н.МОКРИЕНКО<sup>9</sup>,  
А.Л.КАСЬЯНЕНКО<sup>10</sup>, А.В.ЕВСЕЕНКО<sup>11</sup>

## ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ШАХТ

### *Аннотация:*

Рассмотрены новые способы обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок глубоких шахт в зоне влияния очистных работ

### *Summary:*

Here considered new ways of the ground rocks stability providing in preparatory workings of deep mines in the influence zone of mining works

При поддержании подготовительных выработок глубоких шахт Донбасса в зоне влияния очистных работ основной формой проявления горного давления являются смещения боковых пород на контуре выработок. В результате этих смещений происходит деформация и разрушение элементов крепи и пучение пород почвы, что негативно сказывается на состоянии выработок и делает невозможным их безремонтное поддержание. Причем большая доля ремонтов (до 60-80%) связана с ликвидацией последствий процесса пучения пород почвы [1-3].

---

<sup>1</sup> Prof. zw., dr hab. inż M.Chudek dr h.c., Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochrony Powierzchni, Politechnika Śląska

<sup>2</sup> Доц., к.т.н., Негрей С.Г. – Донецкий национальный технический университет

<sup>3</sup> Доц., к.т.н., Соловьев Г.И. – Донецкий национальный технический университет

<sup>4</sup> Доц., к.т.н. Ляшок Я.А. – Донецкий национальный технический университет

<sup>5</sup> Проф., к.т.н. Будишевский В.А. – Донецкий национальный технический университет

<sup>6</sup> Доц., к.т.н. Иванов Б.П. – Донецкий национальный технический университет

<sup>7</sup> Магистр Нефедов В.Е. – Донецкий национальный технический университет

<sup>8</sup> Магистр Мокриенко В.Н. – Донецкий национальный технический университет

<sup>9</sup> Магистр Касьяненко А.Л. – Донецкий национальный технический университет

<sup>10</sup> Магистр Касьяненко А.Л. – Донецкий национальный технический университет

<sup>11</sup> Студент Евсеенко А.В. – Донецкий национальный технический университет

*Chudek M. Особенности механизма выдавливания пород почвы выемочных выработок глубоких шахт / М. Chudek, С. Г. Негрей, Г. И. Соловьёв, Я. А. Ляшок, В. А. Будишевский, В. Е. Нефёдов, Б. П. Иванов, А. Т. Кучер, В. Н. Мокриенко, А. Л. Касьяненко, А. В. Евсеенко // IX Szkoła geomechaniki: материалы международной конференции. – Гливице-Устронь, 2009. – С. 227-239.*

В работе [4] предложена классификация механизмов выдавливания пород почвы в полость горных выработок (рис. 1).

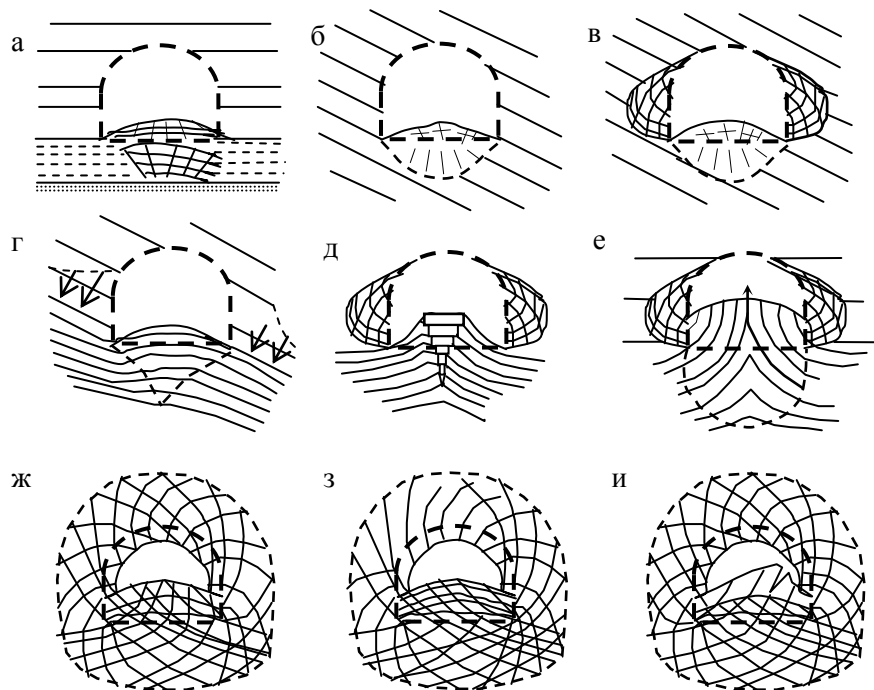


Рис. 1 Схемы механизмов пучения пород почвы (по Г.Г. Литвинскому): а - набухание; б - набухание, размокание; в - размокание с последующим набуханием; г- выдавливание из-под штампа; д - продольно-поперечный изгиб слоев; е - вязкопластическое течение при влаге; ж - образование зоны неупругих деформаций; з- вязкое течение в зоне неупругой деформации при наличии влаги; и – вязко-упругое течение с разломом складки в боку выработки

Пучение почвы выработки представляет собой сложный процесс, обусловленный целым рядом взаимосвязанных факторов, которые определяют разнообразие механизмов выдавливания почвы в различных горно-геологических условиях и разных технологических зонах поддержания выработок. По нашему мнению в условиях глубоких шахт на первом этапе существования выработки механизм смещения

пород почвы представляет собой складкообразование породных слоев за счет формирования зоны разрушения вокруг выработки (рис.2 а,б) [5, 6]. Попытки обеспечить устойчивое состояние выработок за счет применения замкнутых крепей не дают положительных результатов [7, 8] из-за того, что в процессе складкообразования пород в почве выработки формирующаяся нагрузка на крепь значительно превышает ее несущую способность.

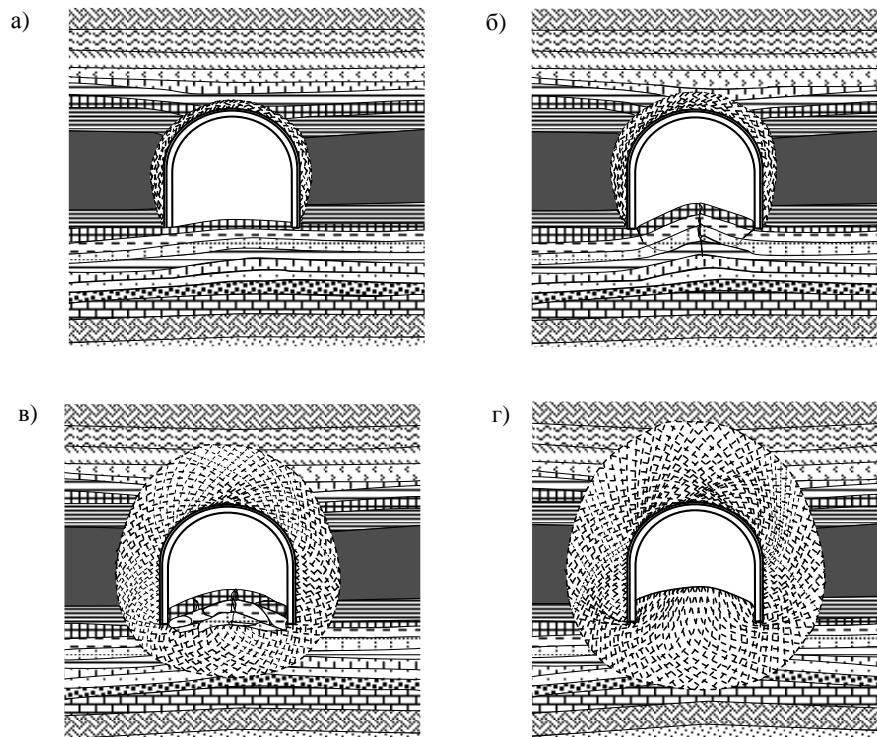


Рис. 2 Схемы механизма пучения почвы выработки на разных этапах ее существования: а, б- складкообразование породных слоев за счет формирования зоны разрушения вокруг выработки; в- выдавливание разрушенных пород в полость выработки под действием веса вышележащих пород, вмещающих ЗРП; г- выдавливание пород почвы вследствие нарушения равновесного состояния системы «крепь- ЗРП- окружающий породный массив»

И вследствие недостаточной податливости применяемых крепей происходит их разрушение.

На втором этапе, после формирования вокруг выработки зоны разрушенных пород (ЗРП), механизм смещения почвы представляет собой процесс выдавливания дискретизированных породных отдельностей в полость выработки под действием веса вышележащих пород, вмещающих ЗРП (рис.2 в). Смещения пород почвы выработки продолжают до тех пор, пока не установится равновесное состояние системы «крепь- зона разрушенных пород- окружающий породный массив». В дальнейшем смещений пород почвы может не наблюдаться при условии сохранения этого равновесия.

Но, как показывает практика, вследствие ведения горных работ (ремонта выработки или нахождения ее в зоне влияния очистных работ) происходит нарушение равновесия системы «крепь- ЗРП- окружающий породный массив» и, как следствие, происходит рост зоны разрушенных пород и интенсификация выдавливания пород почвы выработки (третий этап) (рис.2 г). Это подтверждается результатами натурных исследований [9-11] и указывается на то, что производство подрывки почвы приводит к увеличению скорости ее смещений в 6-9, а иногда и в десятки раз. При этом также наблюдается и увеличение скорости смещений пород кровли и боков выработки.

Таким образом, уборка породы при подрывке снижает пассивный отпор на почву всего на 50-60 кН на 1 м выработки и этого оказывается достаточно для изменения состояния системы. Следовательно, для обеспечения устойчивого состояния почвы выработки после подрывки необходимо компенсировать отпор, который создавался извлекаемыми породами.

Для обеспечения отпора выдавливаемым породам почвы после проведения ее подрывки может быть использовано продольно-лежневое силовое воздействие на верхний слой почвы.

В настоящее время на угольных шахтах Донбасса в качестве основного способа обеспечения устойчивости пород почвы выемочных выработок глубоких шахт используются многократные подрывки почвы, выполняемых в основном вручную. При наличии в почве прочных пород производится их буровзрывное рыхление.

Для обеспечения устойчивости пород почвы на ряде шахт Донбасса имеется положительный опыт применения взрывощелевой разгрузки почвы [2] и способ отсечного торпедирования зависающих вдоль выработки консолей прочных пород основной кровли [12].

**Взрыво-щелевая разгрузка почвы (ВЩР)** применяется для предотвращения интенсивного пучения пород почвы в условиях глубоких шахт. Безремонтное поддержание выработки обеспечивается взрывощелевым способом разгрузки в период проведения выработки при величине пучения до 0,8-1,2 м (рис. 3). При большей величине пучения необходимо производить повторную разгрузку почвы.

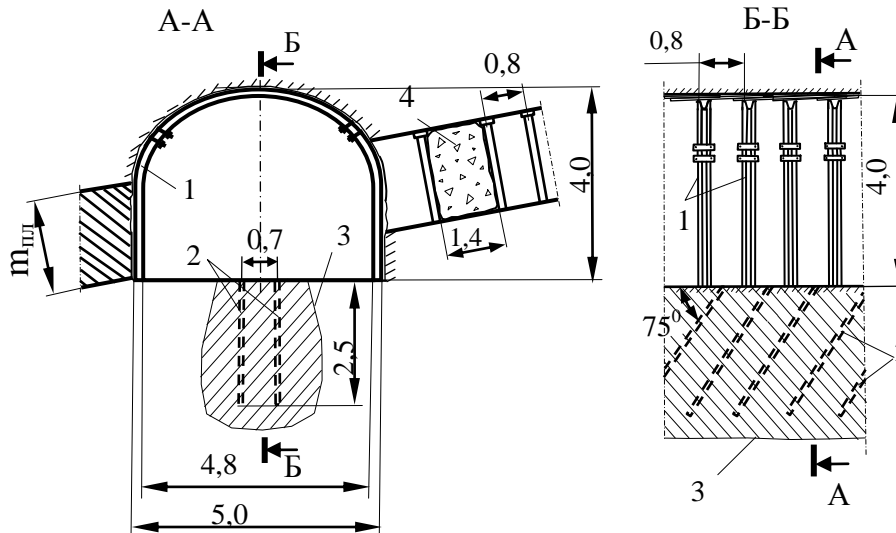


Рис. 3 Схема взрыво-щелевой разгрузки почвы конвейерного штрека при рамно-анкерном креплении выработки и возведении вдоль выработки литой полосы: 1 – комплекты арочной крепи из СВП-27; 2 – шпуры в почве пласта для взрыво-щелевой разгрузки; 3 – контур взрывощели с разупрочненными породами почвы после ее розгрузки; 4 – литая полоса

Сущность взрывощелевой разгрузки (ВЩР) состоит в бурении по центру выработки двух (реже трех) рядов вертикальных в поперечном сечении (и наклонных под углом  $75^{\circ}$  к плоскости напластования в про-

дольном направлении выработки) разгрузочных шпуров длиной 2,5 м и взрывание в них камуфлетных зарядов взрывчатых веществ для образования в породах почвы продольной компенсационной взрывощели. Масса заряда угленита Т-19 в одном шпуре составляет 0,6 кг.

Недостатками способа является организационные сложности из-за необходимости его совмещения с проведением выработки и выполнения режимных взрывных работ.

Применение взрывощелевой разгрузки на шахтах ПО «Макеевуголь», ПО «Добропольеуголь» [2] и шахте «Трудовская» ГХК «Донуголь» [6] позволило уменьшить величину пучения почвы в отдельных случаях в 1,8 – 3,0 раза.

**Способ обрезного торпедирования основной кровли** применяется при залегании в основной кровле пласта прочных пород (рис. 4).

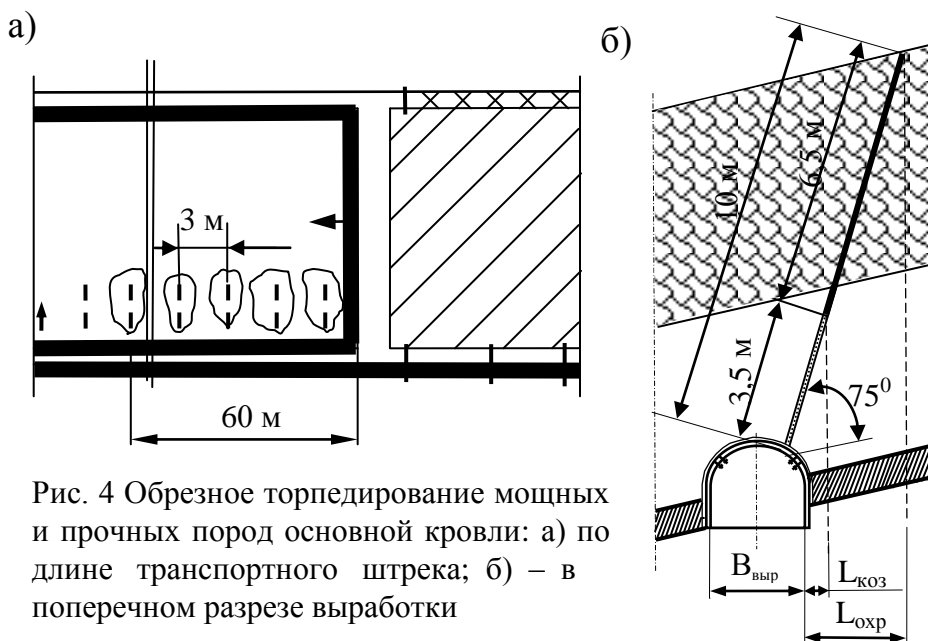


Рис. 4 Обрезное торпедирование мощных и прочных пород основной кровли: а) по длине транспортного штрека; б) – в поперечном разрезе выработки

После обрушения непосредственной кровли в очистном забое эти породы прогибаются в сторону выработанного пространства в виде консоли и передают часть своего веса в качестве пригрузки на крепь выемочной выработки и на почву пласта, способствуя тем самым пуче-

нию слабых пород почвы в выработках поддерживаемых вслед за лавой или используемых повторно. Поэтому вдоль выемочной выработки с наклоном на выработанное пространство под углом  $75-85^{\circ}$  к плоскости пласта бурятся отсечные скважины диаметром  $0,1-0,12$  м и длиной не менее  $70\%$  мощности основной кровли. Расстояние между скважинами в ряду составляет  $4-5$  м при породах прочностью до  $80$  МПа и  $2-3$  м при более крепких. Скважины бурятся на расстоянии  $60 - 80$  м от лавы, а взрываются поочередно не менее чем в  $60$  м от очистного забоя.

Обрушения зависающей консоли происходит в выработанном пространстве по линии отсечных скважин вслед за проходом лавы.

Основным недостатком способа является большой объем бурения скважин и необходимость ведения режимных взрывных работ.

Данный способ прошел достаточную опытно-промышленную проверку на шахтах Донбасса. На шахте «Прогресс» ПО «Горезантрацит» применение обрезного торпедирования во 2-м западном бортовом ходке пласта  $h_8$  позволило снизить пучение почвы с  $1,8$  м до  $0,6$  м [12].

В ДонНТУ разработан и апробирован в шахтных условиях новый способ силового противодействия выдавливанию пород почвы [13, 14]. Для реализации способа силового воздействия на верхний слой почвы производится укладка между рамами арочной крепи поперечных лежней с 2-мя упорными стойками по его концам (рис. 5).

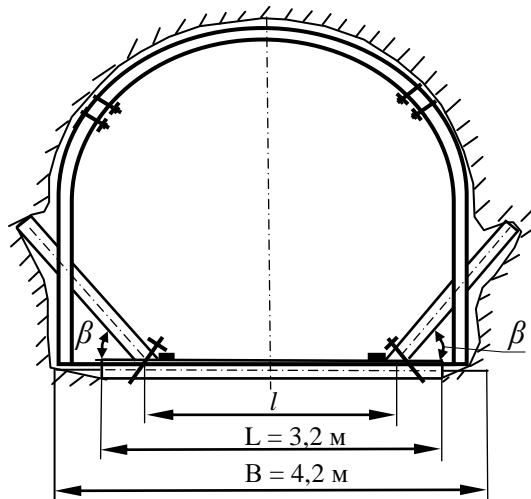


Рис. 5 Схема установки и конструкция лежня с упорами

Применение метода начальных параметров [14] позволило определить величину прогиба  $y(x)$ , угол поворота  $\alpha(x)$  и изгибающий момент  $M(x)$  в поперечном лежне для представленной на рис. 6 расчетной схемы:

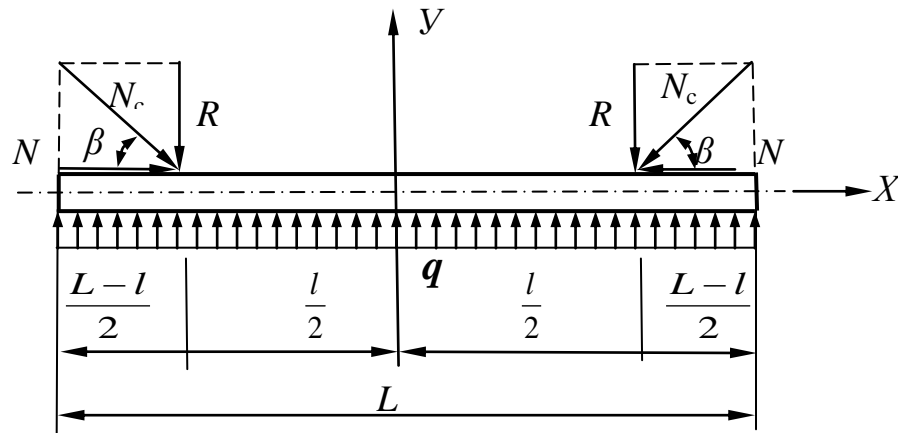


Рис. 6. Расчетная схема лежня с опорами

$$y(x) = y_0 + \frac{\alpha_0 \sin kx}{k} + \frac{M_0}{N}(1 - \cos kx) + \frac{P_0}{kN}(kx - \sin kx) + \frac{q}{k^2 N} \left[ \frac{(kx)^2}{2} + \cos kx - 1 \right],$$

$$\alpha(x) = \alpha_0 \cos kx + \frac{M_0}{N} k \sin kx + \frac{P_0}{N}(1 - \cos kx) + \frac{q}{kN}(kx - \sin kx), \quad (1)$$

$$M(x) = EI \left[ -\frac{N}{k} \alpha_0 k \sin kx + M_0 \cos kx + \frac{P_0}{k} \sin kx + \frac{q}{k^2} (1 - \cos kx) \right],$$

учитывая, что  $k^2 = \frac{N}{EI}$ .

После соответствующих преобразований можно определить прогибы, угол поворота и изгибающие моменты в любом сечении лежня, в том числе и посередине, где прогиб и изгибающий момент принимают максимальные значения:

$$y\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{\alpha_0}{k} \sin \frac{kl}{2} + \frac{1}{N} \left\{ \frac{q}{k^2} \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{kl}{2} \right)^2 - \left( 1 - \cos \frac{kl}{2} \right) \right] + M_0 \left( 1 - \cos \frac{kl}{2} \right) - \frac{V_A}{k} \left[ \frac{kl}{2} - \sin \frac{kl}{2} \right] \right\} \quad (2)$$



$$M\left(\frac{l}{2}\right) = M_0 \cos \frac{kl}{2} + \frac{1}{k} \left[ \frac{q}{k} \left(1 - \cos \frac{kl}{2}\right)^2 - (\alpha_0 N + V_A) \sin \frac{kl}{2} \right] \quad (3)$$

Результаты расчета параметров лежня представлены в таблице 1, из которой видно, что минимальные расчетные значения изгибающих моментов и прогибов в центре лежня, а также напряжений в спецпрофиле СВП-22 будут при установке упорных стоек под углом  $30^0$  к поверхности почвы.

Таблица 1 Параметры упорного лежня

q, КН/м	$\beta$ , рад	l, м	$\alpha_0$ , рад.	M(l/2), КНм	y (l/2), мм	$\sigma_{\min}(l/2)=$ $= \frac{N}{F} + \frac{M(l/2)}{W_{\min}}$ МПа	$\sigma_{\max}(l/2)=$ $= -\frac{N}{F} - \frac{M(l/2)}{W_{\max}}$ МПа
30	$\frac{\pi}{6}$	2,0	$-1,189 \cdot 10^{-4}$	-4,9536	1,41262	-95,33	31,83
		2,2	$4,919 \cdot 10^{-3}$	-10,043	4,8926	-157,92	99,87
		2,4	$10,83 \cdot 10^{-3}$	-15,238	9,6406	-221,82	169,32
30	$\frac{\pi}{4}$	2,0	$2,244 \cdot 10^{-3}$	-6,9741	2,594	-102,98	76,04
		2,2	$7,424 \cdot 10^{-3}$	-11,950	6,256	-164,18	142,56
		2,4	$13,42 \cdot 10^{-3}$	-16,985	11,16	-226,12	209,87
30	$\frac{\pi}{3}$	2,0	$3,578 \cdot 10^{-3}$	-8,10233	3,2575	-109,59	98,39
		2,2	$8,8334 \cdot 10^{-3}$	-13,007	7,0156	-169,91	163,95
		2,4	$14,87 \cdot 10^{-3}$	-17,945	12,996	-230,65	229,97

Опытно-промышленная проверка способа силового противодействия выдавливанию пород почвы была проведена в условиях конвейерного штрека 7-ой восточной лавы пласта  $l_8^1$  шахты «Лидиевка».

Установка металлических лежней на экспериментальном участке выработки осуществлялась после проведения подрывки почвы выработки. По ширине выработки между рамами крепи подготавливались специальные канавки, в которые затем укладывались отрезки спецпрофиля, которые соединялись между собой металлическими хомутами (рис.7). Для предварительного распора на лежень по центру выработки

## ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ВЫДАВЛИВАНИЯ ПОРОД

вертикально устанавливалась гидравлическая стойка. После распора производилась установка опорных стоек на лежень в специально подготовленные в боках выработки полости. Затем стойки соединялись с лежнем при помощи хомутов, после чего извлекалась гидравлическая распорная стойка. Шаг установки лежней составлял 0,85 м (по результатам расчетов не более 0,95 м).



Рис. 7. Размещение металлических лежней и опорных стоек по почве конвейерного штрека 7-ой восточной лавы пласта  $l_8^1$

На контрольном и экспериментальном участках были подготовлены контурные замерные станции с метками на крепи выработки, по которым проводились измерения согласно методике ВНИМИ с помощью измерительной рулетки конструкции ВНИМИ.

На контрольном участке после проведения подрывки на 1,1 м была отмечена интенсификация смещений пород почвы и дальнейшее их

поднятия с момента подрывки на величину 0,41м, после чего была проведена повторная подрывка на величину 0,34м. На экспериментальном участке наблюдались незначительные смещения пород почвы выработки после проведения первой подрывки и установки лежней. Величина поднятия почвы выработки на этом участке составила в среднем 0,09 м (на 77% меньше, чем на участке, где мероприятия не применялись), что позволило не производить повторную подрывку на этом участке (рис. 8).

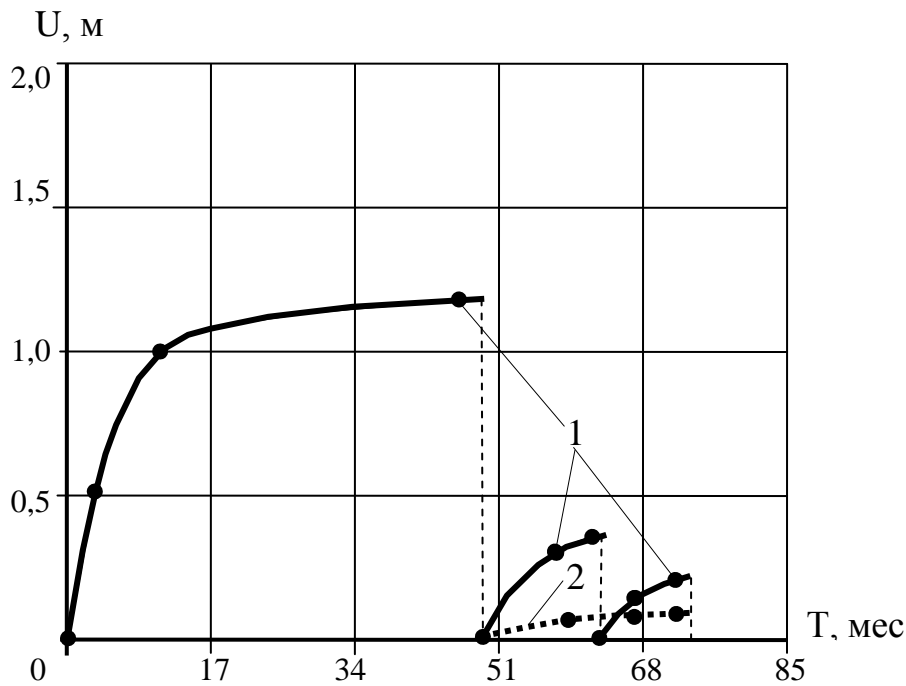


Рис. 8. График зависимости смещений пород почвы выработки  $U$  от времени  $T$  на контрольном (1) и экспериментальном (2) участках

Наличие смещений почвы на экспериментальном участке объясняется некоторой податливостью опорных стоек, вызванной прокалыванием разрушенных пород в боках выработки.

Несмотря на это, результаты наблюдений указывают на эффективность средств механического отпора породам почвы и подтверждают предположения о том, что для обеспечения устойчивого состояния почвы выработки после подрывки необходимо компенсировать отпор извлекаемых пород сравнительно небольшим силовым воздействием на почву выработки.

Применение металлических лежней после подрывки в условиях пласта  $l_8^1$  шахты «Лидиевка» с величиной механического отпора 18 кПа позволило уменьшить смещения почвы на 77%.

Экономический эффект от применения способа механического отпора породам почвы в конвейерном штреке 7-ой восточной лавы пласта  $l_8^1$  составил 32,62 грн./м (в ценах 2005г.).

### Литература

- [1] **Черняк И.Л.** Предотвращение пучения почвы горных выработок. М.Недра: 1978. – 237с.
- [2] **Липкович С.М., Костоманов А.И., Касьян Н.Н.** и др. Авторский надзор за внедрением рациональных способов охраны подготовительных выработок, предотвращающих пучение почвы: Отчет о НИР (заключительный). ДПИ. Донецк. - 1980. - 64 с.
- [3] **Роечко А.Н.** Новый подход к исследованию явления пучения пород для обоснования мер борьбы с ним // Уголь Украины.– 1997.– №2-3.– С. 20-22.
- [4] **Литвинский Г.Г.** Механизм пучения пород почвы подготовительных выработок // Уголь. - 1987. - №2. - С. 15-17.
- [5] **Пирский А.А., Стовпник С.Н.** Шахтные исследования пучения почвы в выработках Западного Донбасса // Уголь Украины.– 1989.– №11.– С. 2-3.
- [6] **Касьян Н.Н., Костоманов А.И., Мороз О.К.** Механизм пучения почвы горных выработок в условиях хрупкого разрушения пород // Изв. вузов. Горный журнал. – 1996.– №1.– С. 4-9.
- [7] **Литвинский Г.Г., Бабиюк Г.В., Быков А.В.** Эффективные способы предотвращения пучения пород в шахтах // ЦНИЭИуголь, ЦБНТИ Минуглепрома УССР.– М., 1985.– 48с.

- [8] **Зубов В.П., Чернышков Л.Н., Лазченко К.Н.** Влияние подрывок на пучение пород в подготовительных выработках // Уголь Украины. – 1985. – №7. – С. 15-16.
- [9] **Липский С.Б., Буткин Н.А.** Борьба с пучением пород в шахтах Приморья // Уголь.– 1975.– №8.– С. 43-45.
- [10] **Соловьев Г.И., Негрей С.Г.** Об особенностях пучения почвы выемочных выработок в условиях шахты «Южнодонбасская» №3 // Известия Донецкого горного института. – 1999. - №3. – С.38-42.
- [11] **Сучасні проблеми** проведення та підтримання гірничих виробок глибоких шахт / Під заг.ред. С.В. Янко.– Донецьк: ДУНВГО, 2003.– 256 с.
- [12] **Черняк И.Л., Ярунин С.А.** Управление состоянием массива горных пород. М.: Недра, 1995. – 395с.
- [13] **Касьян Н.Н., Негрей С.Г., Толкачев А.Ф., Сахно И.Г.** Определение параметров средств механического отпора породам почвы выработки для предотвращения их повторного пучения // Вісник Криворізького технічного університету. Кривий Ріг – №20.– 2008.– С. 28-33.
- [14] **С.Г.Негрей, Г.И.Соловьев, А.Ф.Толкачев, И.Г.Сахно, В.Н.Мокриенко, В.М.Куцерубов.** Алгоритм расчета параметров способа предотвращения вылавливания пород почвы // XIII-й Международный симпозиум «Геотехника-2008». Гливице – Устронь. 13-18 октября 2008г. С.227-243.