

Н.Н.КАСЬЯН, д-р техн. наук, проф., С.Г.НЕГРЕЙ, канд. техн.наук, доцент, А.Ф. ТОЛКАЧЕВ, ст.преподаватель, И.Г. САХНО канд. техн.наук, доцент  
Донецкий национальный технический университет

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ МЕХАНИЧЕСКОГО ОТПОРА ПОРОДАМ ПОЧВЫ ВЫРАБОТКИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОВТОРНОГО ПУЧЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ**

С использованием метода начальных параметров разработан алгоритм расчета оптимальных параметров металлических лежней и опорных стоек, обеспечивающих механический отпор породам почвы горной выработки, при которых сохраняется их устойчивость после проведения подрывки.

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Сохранение устойчивости горных выработок является одной из приоритетных задач горной геомеханики. Потеря же устойчивости выработок в большинстве случаев (до 70%) происходит за счет пучения пород почвы.

В виду того, что процесс пучения для разных условий и на разных этапах существования выработок отличен, существует множество способов борьбы с ним. Эффективность каждого способа прямо зависит от затратности при его реализации и очень часто применение эффективных способов в определенных условиях становится экономически невыгодным по сравнению с проведением подрывок пород почвы выработки. Но, как известно, подрывка приводит к активизации процесса смещений пород на контуре их сечения, причем дополнительные сближения кровли и почвы, связанные с ней, достигают 30 % от высоты выработки [1]. Следствием этого является проведение последующей подрывки. Поэтому возникает необходимость в разработке недорогостоящих и эффективных мероприятий по предотвращению повторного пучения пород почвы.

### **Анализ исследований и публикаций.**

Уборка породы снижает пассивный отпор на почву всего на 50-60 кН на 1м выработки, но этого оказывается достаточно для нарушения равновесного состояния вмещающего выработку массива и повторного пучения, поэтому для обеспечения устойчивости почвы после подрывки необходимо компенсировать отпор извлекаемых пород.

Компенсировать пассивное силовое действие от веса убранной породы возможно созданием механического отпора по почве выработки [2].

Применение механического отпора для сохранения устойчивости выработок широко известно в горной практике. Сюда можно отнести применение различных типов усиливающих крепей или телескопических лежней вместе с арочной крепью из спецпрофиля [3,4], замкнутых конструкций крепи [5], анкерного крепления зон сдвижения и равновесия [6] вместе с созданием замкнутого контура крепи и др.

Основными недостатками данных мероприятий является их дороговизна, большая трудоемкость работ, а при применении усиливающих крепей еще и большая загроможденность рабочего пространства выработки. Кроме того, применение замкнутых конструкций крепи требует своей реализации на стадии проведения выработок, а, как показывают исследования [7], применение средств механического отпора на этой стадии, не целесообразно.

### **Постановка задачи.**

Областью применения способов предотвращения пучения, основанным на механическом отпоре породам почвы, являются горные выработки на стадии их эксплуатации, когда вокруг них образовалась зона разрушенных пород [7]. Уменьшение смещений почвы применением средств механического отпора является результатом самозаклинивания подстилающих выработку пород, которое проявляется в виде их уплотнения и увеличения угла внутреннего трения вследствие действия на них сил, как со стороны массива, так и со стороны средств механического отпора породам почвы.

Величина противодействия выдавливанию пород почвы зависит от ряда факторов (объемного веса и угла внутреннего трения пород, вмещающих выработку, ее ширины, гранулометрического состава и размера зоны разрушенных пород) и на несколько порядков меньше сил, действующих на основную крепь выработки [8].

Остается под вопросом только технологичность применения способов, основанных на создании механического отпора породам почвы, и определение их рациональных параметров для обеспечения устойчивости почвы после проведения подрывки.

Основными требованиями, предъявляемыми к средствам механического отпора, являются: малозатратность, обеспечение необходимого отпора породам почвы и безопасности работ.

Предлагается для изготовления основных элементов крепления почвы выработки использовать специальный взаимозаменяемый профиль. Для определения параметров этих элементов, исходя из условия предотвращения выдавливания пород почвы выработки, по нашему мнению, стоит воспользоваться методом начальных параметров [9], который позволяет определять перемещения в балках на упругих основаниях с использованием простых аналитических зависимостей.

### Изложение материала и результаты.

Для обеспечения эксплуатационного сечения выработки предлагается применение металлических лежней с установкой опорных стоек (рис. 1) в бока выработки под некоторым углом  $\beta$  независимо от основной крепи выработки.

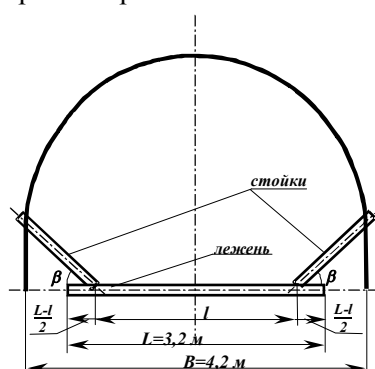


Рис. 1. Схема установки лежня и опорных стоек

В расчетном варианте примем, что ширина выработки  $B=4,2$  м, длина лежня составляет 3,2 м, поперечное сечение лежня и стоек представляет собой специальный взаимозаменяемый профиль СВП 22 (рис. 2).

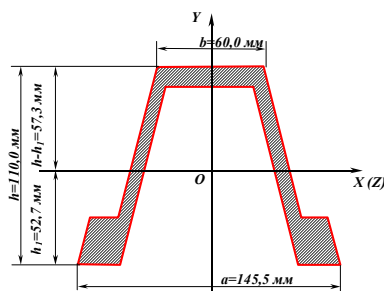


Рис. 2. Поперечное сечение специального взаимозаменяемого профиля СВП-22

Тогда геометрические характеристики лежня и стоек следующие: площадь сечения  $F=27,91$  см<sup>2</sup>; момент инерции  $I_x=428,60$  см<sup>4</sup>; моменты сопротивления:  $W_{x_1 \max} = I_x/h_1 = 428,6/5,27 = 81,3$  см<sup>3</sup> и  $W_{x_1 \min} = I_x/(h-h_1) = 428,6/(11,0-5,27) = 74,8$  см<sup>3</sup> (где  $h_1$ ,  $(h-h_1)$ – расстояния от нейтральной оси  $OX$  (рис. 2) до нижних и верхних волокон сечения, см); изгибная жесткость  $EI_x = 2 \cdot 10^{11} \cdot 428,6 \cdot 10^{-8} = 8,572 \cdot 10^5$  Нм<sup>2</sup> (где  $E = 2 \cdot 10^{11}$  – модуль упругости стали, Па); радиусы инерции:  $i_x = 3,90$  см,  $i_y = 4,46$  см.

При пределе прочности для ст. 4  $\sigma_g=50$  МПа допустимое напряжение при коэффициенте запаса  $k_g=2,5$  равно  $[\sigma]=200$  МПа, а для ст. 5 при  $\sigma_g=60$  МПа–  $[\sigma]=240$  МПа.

На рисунке 3 показана принятая расчетная схема лежня.

Из условия симметрии относительно оси  $OY$  реакции в месте опоры на стойки будут определяться из выражения

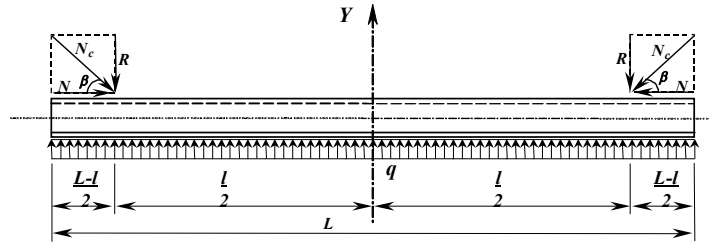


Рис. 3. Расчетная схема по определению несущей способности лежня

$$R = \frac{qL}{2}, \quad (1)$$

где  $q$  – равномерная распределенная нагрузка (равная величине отпора лежня), Па;  $L$  – длина лежня, м.

При угле наклона стойки  $\beta$  усилие в ней будет определяться по формуле

$$N_c = \frac{R}{\sin \beta} = \frac{qL}{2 \sin \beta}. \quad (2)$$

Горизонтальная сила  $N$  будет равна

$$N = N_c \cos \beta = \frac{qL}{2 \operatorname{tg} \beta}. \quad (3)$$

Консольная часть лежня длиной  $l_k$  рассчитывается как балка-консоль (рис. 4а). Эпюра ее изгибающих моментов показана на рисунке 4б, от единичной силы – на рисунке 4в.

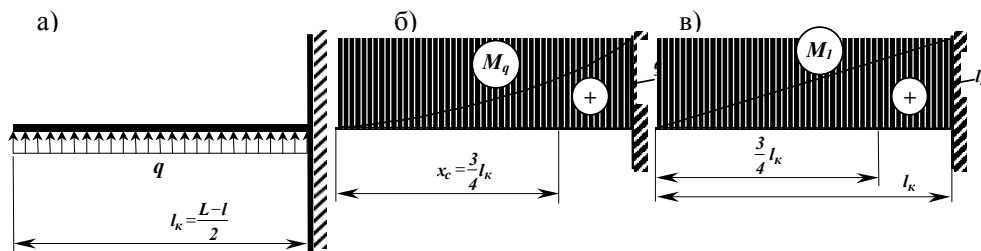


Рис. 4. Расчетная схема консоли лежня (а) и эпюры ее изгибающих моментов от равномерной распределенной нагрузки (б) и единичной силы (в)

Наибольшее напряжение возникает в месте опоры на стойку и определяется из выражения

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{\min}} = \frac{ql_k^2}{2W_{\min}} \leq [\sigma]. \quad (4)$$

При  $l_k = \frac{L-l}{2} = \frac{3,2-2}{2} = 0,6$  м,  $W_{\min} = 74,8$  см<sup>3</sup>,  $[\sigma] = 200$  МПа получим допустимую нагрузку для консольной части лежня, которая составит

$$[q] \leq \frac{2[\sigma]W_{\min}}{l_k^2} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 74,8 \cdot 10^{-6}}{0,6^2} = 83,1 \text{ кН/м.}$$

При такой нагрузке прогиб (вертикальное перемещение) конца консоли, по правилу Верещагина [9], будет определяться из выражения

$$f = \frac{w(q)M_{lc}}{EI_z}, \quad (5)$$

где  $w(q)$  – площадь эпюры от нагрузки  $q$ , Н·м<sup>2</sup> (рис. 4б)

$$w(q) = \frac{ql_k^2}{2} \cdot \frac{l_k}{3} = \frac{ql_k^3}{6};$$

$M_{lc}$  – величина момента на единичной эпюре  $M_l$  (рис. 4б)

$$M_{1c} = \frac{3}{4} l_k \cdot$$

Тогда

$$f = \frac{ql_k^4}{8EI_z} = \frac{83,1 \cdot 10^3 \cdot 0,6^4}{8 \cdot 8,572 \cdot 10^5} = 0,00157 \text{ м.}$$

При такой же нагрузке и  $l_k=1$  м прогиб достигнет 0,01212 м.

Расчетная схема пролетной части лежня представлена на рисунке 5.

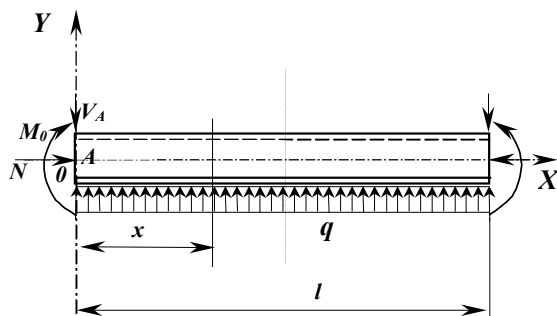


Рис. 5. Расчетная схема пролетной части лежня

Пролетная часть лежня длиной  $l$  подвергается продольно-поперечному изгибу. Сжимающая сила, приложенная вдоль оси  $OX$ , определяется по формуле (3).

Изгибающий момент  $M_0$  в начале координат образуется от приведения консольной нагрузки и горизонтальной силы  $N$  и определяется из выражения

$$M_0 = \frac{ql_k^2}{2} + N(h - h_1) = \frac{q(L-l)^2}{8} + N(h - h_1). \quad (6)$$

Вертикальная сила

$$V_A = \frac{ql}{2} = \frac{qL}{2} - \frac{q(L-l)}{2}. \quad (7)$$

Решая задачу методом начальных параметров, составим уравнения прогибов  $y(x)$ , углов поворота  $\alpha(x)$  и изгибающих моментов  $M(x)$ .

Учитывая, что  $k^2 = \frac{N}{EI}$ ,

$$y(x) = y_0 + \frac{\alpha_0}{k} \sin kx + \frac{M_0}{N} (1 - \cos kx) + \frac{P_0}{kN} (kx - \sin kx) + \frac{q}{k^2 N} \left( \frac{k^2 x^2}{2} + \cos kx - 1 \right), \quad (8)$$

$$\alpha(x) = \alpha_0 \cos kx + \frac{kM_0}{N} \sin kx + \frac{P_0}{N} (1 - \cos kx) + \frac{q}{kN} (kx - \sin kx), \quad (9)$$

$$M(x) = -\frac{N}{k} \alpha_0 \sin kx + M_0 \cos kx + \frac{P_0}{k} \sin kx + \frac{q}{k^2} (1 - \cos kx), \quad (10)$$

где  $P_0$  – поперечная сила перпендикулярная к оси в начале координат, Н.

При  $x=0$ ;  $y_0=0$  (начальный прогиб), начальный момент определяется по формуле (6), а  $P_0 = -V_A = -\frac{ql}{2}$ .

Начальный угол найдем из условия симметрии при  $x = l/2$ ;  $\alpha(l/2) = 0$ ,

т.е.

$$\alpha_0 = -\frac{kM_0}{N} \operatorname{tg} \frac{kl}{2} + \frac{V_A}{N} \left( \frac{1}{\cos(kl/2)} - 1 \right) + \frac{q}{kN} \left( \frac{kl}{2 \cos(kl/2)} - \operatorname{tg}(kl/2) \right), \quad (11)$$

Определив начальные параметры, по формулам (8)-(10) можно определить прогибы, углы поворота и изгибающие моменты в любом сечении лежня, в том числе и посередине, где прогиб и изгибающий момент будут максимальными и определяться из выражений:

$$y\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{\alpha_0}{k} \sin \frac{kl}{2} + \frac{1}{N} \left[ \frac{q}{k^2} \left( \frac{k^2 l^2}{8} - \left( 1 - \cos \frac{kl}{2} \right) \right) + M_0 \left( 1 - \cos \frac{kl}{2} \right) - \frac{V_A}{k} \left( \frac{kl}{2} - \sin \frac{kl}{2} \right) \right], \quad (12)$$

$$M\left(\frac{l}{2}\right) = M_0 \cos \frac{kl}{2} + \frac{1}{k} \left[ \frac{q}{k} \left( 1 - \cos \frac{kl}{2} \right) - (\alpha_0 N + V_A) \sin \frac{kl}{2} \right]. \quad (13)$$

Таким образом, получен алгоритм расчета параметров металлического лежня и опорных стоек для применения их в качестве средства механического отпора породам почвы в условиях горных выработок.

Для подтверждения эффективности применения данной конструкции были проведены промышленные испытания способа в условиях шахты «Лидиевка» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания» (рис.6) [10].

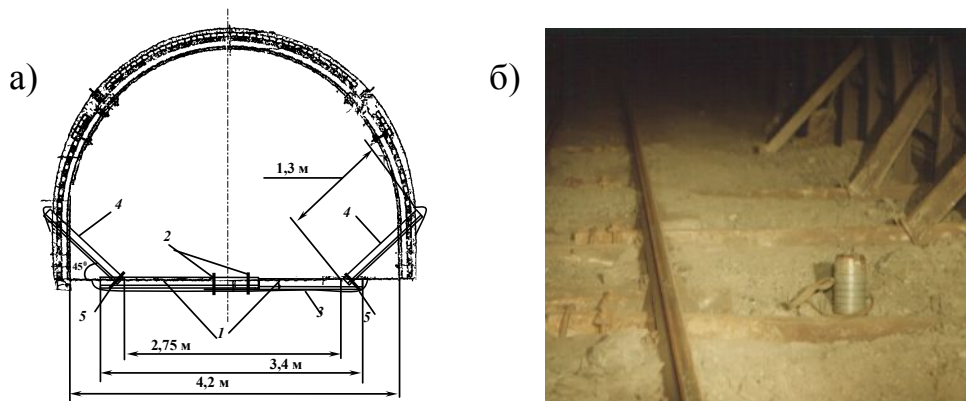


Рис. 6. Конструкция лежня (а) и схема его установки (б) совместно с опорными стойками в условиях конвейерного штрека 7-ой восточной лавы пласта  $l_8'$  (1- лежень; 2, 5- хомуты; 3- канавка; 4- опорные стойки)

Предварительно для рассматриваемых горно-геологических условий с использованием разработанного алгоритма были определены фактические и допустимые (по условию прочности) параметры лежней (табл.1).

Таблица 1- Результаты расчета параметров лежня и опорных стоек для условий конвейерного штрека 7-ой восточной лавы пласта  $l_8'$

Наименование показателей	Значения показателей	
	фактические	допустимые
Отпор лежня $q$ , МПа	0,0009	0,018
Угол наклона опорных стоек $\beta$ , рад.	$\pi/4$	
Длина пролетной части лежня, $l$ , м	2,75	
Усилие в стойке $N_c$ , кН	2,88	57,6
Горизонтальная сила $N$ , кН	2,4942	49,8831
Вертикальная сила $V_A$ , кН	1,2375	24,75
Изгибающий момент, кН·м:		
- в месте опоры на стойку $M_k$ ,	0,0228	0,4556
- от поведения консольной нагрузки и горизонтальной силы $M_0$	0,1657	3,3139
Коэффициент жесткости основания $k$	0,0539	0,2412
Угол поворота лежня, $\alpha_0$ , рад.	$6,46 \cdot 10^{-4}$	$135,0 \cdot 10^{-4}$
Макс. изгибающий момент пролетной части лежня, $M(l/2)$ , кН·м	-0,68658	-14,3272
Максимальный прогиб пролетной части лежня, $y(l/2)$ , м	0,0006	0,0125
Максимальные напряжения пролетной части лежня, МПа:		
сжимающие $\sigma^{(l/2)}_{min}$ ,	9,34	194,10
растягивающие $\sigma^{(l/2)}_{max}$	8,29	173,67

По результатам опытно-промышленной проверки способа механического отпора породам почвы горной выработки было установлено, что после установки вслед за подрывкой по почве выработки металлических лежней с опорными стойками величина их смещений была на 77 % меньше, чем без применения средств механического отпора, что позволило не производить повторных подрывок и сохранить эксплуатационное состояние выработки до полной отработки выемочного столба.

**Выводы и направление дальнейших исследований.**

Результаты натурных исследований указали на адекватность результатов расчетов по разработанному алгоритму к реальным условиям, поэтому он может быть использован для расчета геометрических и силовых параметров средств механического отпора породам почвы выработки.

*Список литературы*

1. Зубов В.П., Чернышков Л.Н., Лазченко К.Н. Влияние подрывок на пучение пород в подготовительных выработках // Уголь Украины. – 1985. – №7. – С. 15-16.
2. Негрей С.Г. О возможности предотвращения повторного пучения пород почвы горных выработок после их подрывки // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2005.– №2.– С. 65-68.
3. Баймухаметов С.К., Новиков В.Я., Попов К.П. Опыт применения технологии выемки с повторным использованием выработок на шахтах Карагандинского бассейна // Уголь.– 1991.– №11.– С.22-25.
4. Кириенко М.И. Повторное использование выемочных штреков // Уголь Украины.– 1980.– №2.– С.13-15.
5. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок.– К.: Наук. думка, 1979.– 136с.
6. Дридж Н.А., Есмагамбеков Х.Б., Жданкин А.А. Обоснование рациональных способов сохранения штреков за лавой // Уголь.– 1985.– №12.– С.12-14.
7. Касьян Н.Н., Негрей С.Г., Сахно И.Г. Определение рациональной области применения способа механического отпора породам почвы выемочной выработки // Науковий вісник Національного гірничого університету.– Дніпропетровськ.– 2007.–№5.– С. 45-48.
8. Негрей С.Г., Касьян Н.Н. Расчет необходимой величины механического отпора выдавливанию пород почвы горной выработки // Геотехнологии и управление производством XXI век.– Донецк: ДонНТУ.– Т.1.–2006.– С.122-127.
9. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов.– М: Высшая школа.– 1969.– 734с.
10. Негрей С.Г. Результаты испытаний способа предотвращения повторного пучения пород почвы горной выработки // Проблемы подземного строительства и направления развития тампонажа и закрепления горных пород: Материалы научно-практической конференции.– Луганск: Изд-во Восточноукраинского национального университета им. В.Даля.– 2006.– С.202-206.

© Касьян Н.Н., Негрей С.Г., Толкачев А.Ф., Сахно И.Г.