

УДК 622.831:624.04

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДСТВ  
МЕХАНИЧЕСКОГО ОТПОРА ПОРОДАМ ПОЧВЫ  
ВЫРАБОТКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ УСТОЙЧИВОСТИ  
ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДРЫВКИ**

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

*Ключевые слова: устойчивость, крепление почвы, подрывка, механический отпор.*

**Семинар № 18**

---

**N.N. Kasyan, S.G. Negrey, A.F. Tolkachev, G.I. Solovyev, I.G. Sahn**  
**THE DEFINITION OF PARAMETERS  
OF BEARING PRESSURE MEANS TO  
SOIL ROCKS OF WORKING FOR  
PROVIDING ITS STABILITY AFTER  
SLASHING**

*The algorithm of calculating the optimal parameters of grillage beams and staking prop that provide mechanical bearing pressure to soil rocks of working and keep its stability after slashing is developed. The algorithm is developed using the method of primary parameters.*

*Key words: steadiness, soil framing, slashing, bearing reaction.*

**С**охранение 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 каж-

дого 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.

Уборка породы снижает пассивный отпор на почву всего на 50-60 кН на 1 м 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 поро-

ды возможно созданием механического отпора по почве выработки [2].

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 [3].

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 [4].

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,

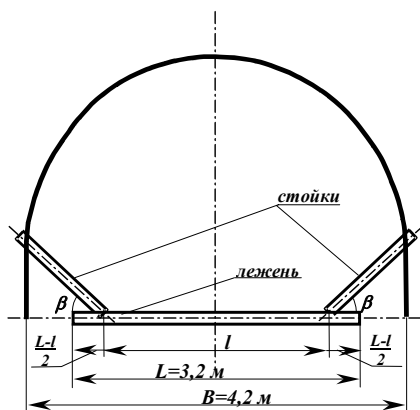


Рис. 1. Схема установки лежня и опорных стоек

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 [5, 6], который позволяет определять перемещения в балках на упругих основаниях с использованием простых аналитических зависимостей.

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.

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).

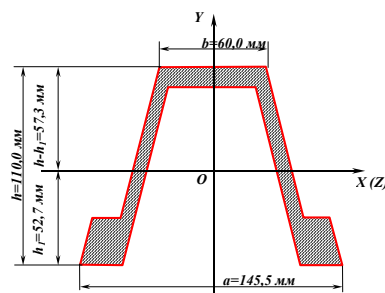
Тогда геометрические характеристики лежня и стоек следующие [7]:

- площадь сечения  $F=27,91$  см<sup>2</sup>;
- момент инерции  $I_x=428,60$  см<sup>4</sup>;

– моменты сопротивления:

$$W_{x_1 \max} = \frac{I_x}{h_1} = \frac{428,6}{5,27} = 81,3 \text{ см}^3,$$

$$W_{x_1 \min} = \frac{I_x}{h-h_1} = \frac{428,6}{11,0-5,27} = 74,8 \text{ см}^3,$$



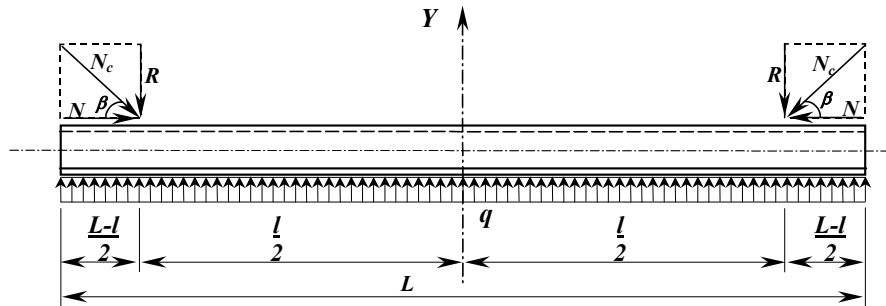


Рис. 3. Расчетная схема по определению несущей способности лежня

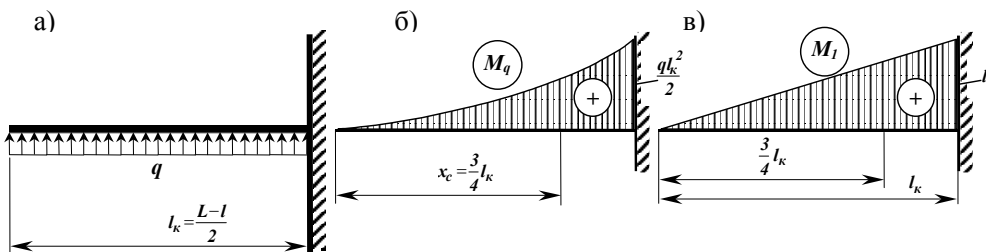


Рис. 4. Расчетная схема консоли лежня (а) и эпюры ее изгибающих моментов от равномерной распределенной нагрузки (б) и единичной силы (в)

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

где  $h_1, (h-h_1)$  – расстояния от нейтральной оси  $OX$  (рис. 2) до нижних и верхних волокон сечения, см;

– изгибная жесткость

$$EI_x = 2 \cdot 10^{11} \cdot 428,6 \cdot 10^{-8} = 8,572 \cdot 10^5 \text{ Нм}^2$$

(где  $E = 2 \cdot 10^{11}$  – модуль упругости стали, Па);

– радиусы инерции:

$$i_x = 3,90 \text{ см}, i_y = 4,46 \text{ см}.$$

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

На рис. 3 показана принятая расчетная схема лежня.

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

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

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

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

Консольная часть лежня длиной  $l_k$  рассчитывается как балка-консоль (рис. 4, а). Эпюра ее изгибающих мо-

ментов показана на рис. 4, б, от единичной силы – на рис. 4, в.

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

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

При  $l_{\kappa} = \frac{L-l}{2} = \frac{3,2-2}{2} = 0,6$  м,  
 $W_{\min} = 74,8 \text{ см}^3$ ,  $[\sigma] = 200$  МПа получим допустимую нагрузку для консольной части лежня, которая составит  $[q] \leq \frac{2[\sigma]W_{\min}}{l_{\kappa}^2} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 74,8 \cdot 10^{-6}}{0,6^2} = 83,1 \text{ кН/м}$ .

При такой нагрузке прогиб (вертикальное перемещение) конца консоли, по правилу Верещагина [5, 6], будет определяться из выражения

$$f = \frac{w_{(q)} M_{1c}}{EI_z}, \quad (5)$$

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

$$w_{(q)} = \frac{ql_{\kappa}^2}{2} \cdot \frac{l_{\kappa}}{3} = \frac{ql_{\kappa}^3}{6};$$

$M_{1c}$  – величина момента на единичной эпюре  $M_1$  (рис. 4, б)  $M_{1c} = \frac{3}{4} l_{\kappa}$ . Тогда

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

При такой же нагрузке и  $l_{\kappa} = 1$  м прогиб достигнет 0,01212 м.

Расчетная схема пролетной части лежня представлена на рис. 5.

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

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

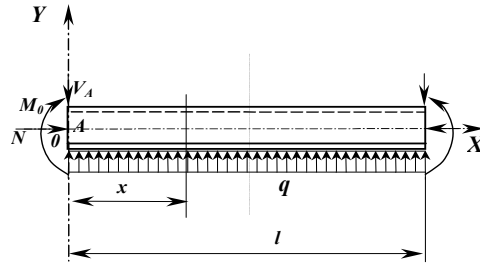


Рис. 5. Расчетная схема пролетной части лежня

Вертикальная сила

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

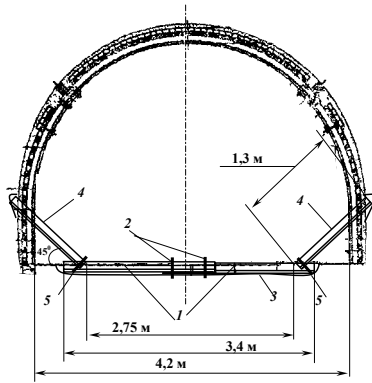
Решая задачу методом начальных параметров, составим уравнения прогибов  $y(x)$ , углов поворота  $\alpha(x)$  и изгибающих моментов  $M(x)$ .

Учитывая, что  $k^2 = \frac{N}{EI}$ ,

$$y(x) = y_0 + \alpha_0 \frac{\sin kx}{k} + \frac{M_0}{N} (1 - \cos kx) + \frac{P_0}{kN} (kx - \sin kx) + \int_0^x \frac{qdu(ku - \sin ku)}{kN},$$

$$\alpha(x) = \frac{dy(x)}{dx} = \alpha_0 \cos kx + \frac{M_0}{N} k \sin kx + \frac{P_0}{N} (1 - \cos kx) + \int_0^x \frac{qdu(1 - \cos ku)}{N},$$

$$M(x) = EI \frac{d\alpha(x)}{dx} = EI \left( -\alpha_0 k \sin kx + \frac{M_0}{N} k^2 \cos kx + \frac{P_0}{N} k \sin kx + \int_0^x \frac{qduk \sin ku}{N} \right), \text{ или}$$



**Рис. 6. Конструкция лежня (а) и схема его установки (б) совместно с опорными стойками в условиях конвейерного штрека 7-й восточной лавы пласта 1<sub>г</sub>: 1 - лежень; 2, 5 - хомуты; 3 - канавка; 4 - опорные стойки**

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

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

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

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  $x = \frac{l}{2}$ ;  $\alpha\left(\frac{l}{2}\right) = 0$ , т.е.

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

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

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

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

С использованием разработанного алгоритма были определены фактические и допустимые (по условию прочности) параметры лежней (таблица) для условий пласта  $l_8$  шахты «Лидиевка» ГП «Донецкая угольная энергетическая компания» и для подтверждения эффективности применения данной конструкции (рис. 6) были проведены промышленные испытания способа [8].

**Результаты расчета параметров лежня и опорных стоек для условий конвейерного штреха 7-ой восточной лавы пласта 1<sub>г</sub>**

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 в месте опоры на стойку $M_R$ , кН·м	0,0228	0,4556
Изгибающий момент в от поведения консольной нагрузки и горизонтальной силы $M_0$ , кН·м	0,1657	3,3139
Коэффициент жесткости основания $k$	0,0539	0,2412
Угол поворота лежня, $\alpha_0$ , рад.	$6,46 \cdot 10^{-4}$	$135,0 \cdot 10^{-4}$
Максимальный 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 сжимающие напряжения пролетной части лежня, $\sigma(l/2)_{min}$ , МПа	9,34	194,10
Максимальные растягивающие напряжения пролетной части лежня, $\sigma(l/2)_{max}$ , МПа	8,29	173,67





По результатам опытно-промышленной проверки способа механического отпора породам почвы горной выработки было установлено, что после установки в след 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 состоя-

ние выработки до полной отработки выемочного столба.

Результаты проведенных шахтных испытаний предложенного способа с параметрами, которые были определены по разработанному алгоритму, подтвердили его эффективность. Поэтому этот алгоритм может быть использован для расчета геометрических и силовых параметров средств механического отпора породам почвы.

#### 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. *Бондаренко Ю.В., Соловьев Г.И., Негрей С.Г., Кублицкий Е.В.* Влияние плотности разрушенного породного массива на устойчивость выработки // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепропетровск. – 2001г. – №12. – Т.2. – С. 91-95.
4. *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.
5. *Дарков А.В., Шпиро Г.С.* Сопротивление материалов. – М: Высшая школа. – 1969. – 734 с.
6. *Шевченко Ф.Л., Жеданов С.А.* Опір матеріалів. Спеціальний курс. Метод початкових параметрів. – К.: НМК ВО. – 1992. – 228 с.
7. *Справочник по теории упругости (для инженеров-строителей).* Под ред. П.М. Варвака и А.Ф. Рябова. – К.: Будівельник. – 1971. – 420 с.
8. *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 Восточнотрапунктського національного університету ім. В.Даля. – 2006. – С. 202-206. **УДБ**

#### Коротко об авторах

*Касьян Н.Н., Негрей С.Г., Толкачев А.Ф., Соловьев Г.И., Сахно И.Г.* – ДонНТУ, ic@donntu.edu.ua

