

вычисляются, согласно принятой физической модели деформирования пород, главные фактические напряжения и углы, определяющие ориентировку главных площадок. Найденные таким образом, напряжения сравниваются с предельными значениями параметров прочности в направлении их ориентации. Для каждого элемента, тем самым, составляется отдельное условие прочности, куда подставляется предельное сопротивление породы в данной точке массива с учетом знака и ориентации главных напряжений, а также вида напряженного состояния.

### Список литературы

1. Рац М.В. Структурные модели и инженерной геологии. – М.: Недра, 1973. – 216с.
2. Кузнецов Г.Н. Графические методы оценки предельных состояний трещиноватого массива вокруг горных выработок //Современные проблемы механики горных пород. – Л.: Наука, 1972. – с. 30-44.
3. Фисенко Г.Л. Методы количественной оценки структурных ослаблений в связи с анализом их устойчивости // Современные проблемы механики горных пород. – Л.: Наука, 1972. с.4–29.
4. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятностей в геомеханике. – К.: Техніка, 1994. – 214 с.
5. Литвинский Г.Г., Курман С.А. Методы и средства определения прочности затампированных пород // Крепление, поддержание и охрана горных выработок: Сб. науч. трудов ИГД СО АН СССР, ин-т угля СО АН СССР. – Новосибирск: 1985. – с.9–18.
6. Виттке В. Механика скальных пород: Пер. с нем. – М.: Недра, 1990. – 439 с.
7. Рекомендации по комплексу методов определения механических свойств горных пород для инженерных методов расчета горного давления. – Л.: ВНИМИ, 1985. – 105 с.
8. Временная инструкция и методические указания по определению свойств горных пород портативным прибором ППЭИ. – Коммунарск: КГМИ, 1981.– 41 с.
9. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский М.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. – М.: Наука, 1969. – 511 с.
10. Матвеев Б.В. О необходимом числе образцов для испытания свойств пород / Труды ВНИМИ. – Л.: ВНИМИ, 1966, вып. 60. с. 11–20.
11. Глушко В.Т., Киричанский Г.Т. Инженерно-геологическое прогнозирование устойчивости выработок глубоких угольных шахт. – М.: Недра, 1974. – 176 с.

© Бабиюк В. Г., Курман С. А., 2006

УДК 622.831

Канд. техн. наук СОЛОВЬЕВ Г. И., инж. ТОЛКАЧЕВ А. Ф., канд. техн. наук ФОРМОС В. Ф., инж. НЕФЕДОВ В. Е., инж. ПАНФИЛОВ Ю. Н. (ДонНТУ)

### **О МЕХАНИЗМЕ УПОРНО-ЖЕСТКОГО УСИЛЕНИЯ АРОЧНОЙ КРЕПИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК**

Обеспечение устойчивости подготовительных выработок глубоких шахт, поддерживаемых в зоне активного влияния очистных работ, является одной из важных задач подземной угледобычи, предопределяющей эффективность ведения очистных и подготовительных работ, проветривания забоев, транспортирования добытого угля.

В связи с низкой надежностью применяемых арочных крепей их применение в условиях больших глубин разработки практически невозможно без использования дополнительных крепей усиления, которые позволяют создавать дополнительное силовое противодействие возрастающим с глубиной нагрузкам на основную крепь выработок. Значительно усугубляет неудовлетворительное состояние с устойчивостью выемочных выработок несоответствие параметров применяемых способов охраны условиям ведения горных работ [1, 2].

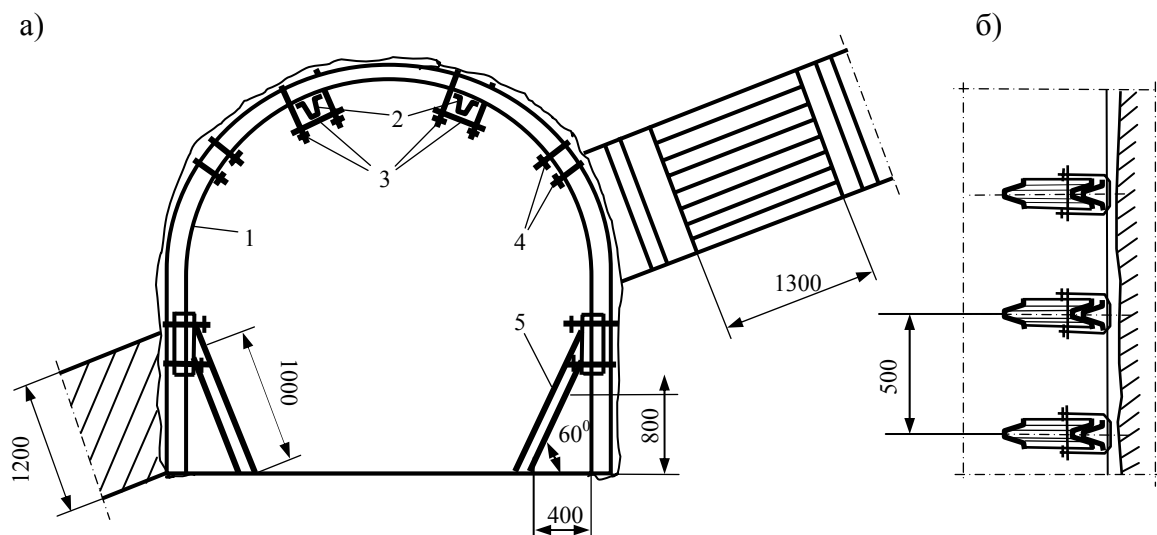
Предложенная сотрудниками ДонНТУ продольно-балочная крепь усиления (рис. 1), основанная на принципе продольно-жесткой консолидации комплектов

арочной по длине и ширине выемочных выработок и позволяющая перераспределять повышенную нагрузку в зоне опорного давления между перегруженными и недогруженными рамами крепи, показала достаточно высокую эффективность при ее опытно-промышленной проверке [3-5] на ряде глубоких шахт Донбасса («Южнодонбасская №3», им. А.А.Скочинского, им. М.И.Калинина).

Применение упорной усиливающей крепи позволит обеспечить устойчивость арочной крепи за счет перераспределения общей нагрузки на ножки арочной крепи на дополнительные две опоры, что создаст предпосылки для снижения величины их вдавливания в почву выработки. Кроме того, наличие наклонной упорной стойки позволяет противодействовать интенсивным боковым смещениям породного контура.

Для определения параметров установки упорной усиливающей крепи рассмотрим жесткую раму, состоящую из вертикальной и наклонной стоек из специального взаимозаменяемого профиля (СВП-27), жестко соединенных между собой в точке С (рис. 2а). Наклонная упорная стойка установлена к ножке крепи под углом  $\beta$ .

Так как узел «С» представляет собой жесткое соединения упорной стойки и ножки крепи, то представленная на рис 2, а конструкция рамы является трижды статически неопределимой.



**Рис.1** Конструкция комбинированной крепи усиления. (а): по кровле – двухбалочная продольно-жесткая крепь усиления (1 – арочная крепь из СВП-27, 2 – балка из спецпрофиля СВП-27, 3 – элементы крепления балки к верхняку крепи, 4 – замки арочной крепи); в боках – упорные наклонные стойки; (5 – упорная стойка из спецпрофиля СВП-27); (б) – схема установки упорной усиливающей крепи по почве выработки

Для устранения статической неопределенности рассматриваемой задачи преобразуем основную расчетную схему за счет отбрасывания заделки опоры «В» и приложения вместо нее неизвестных изгибающего момента  $X_1$ , продольной силы  $X_2$  и поперечной силы  $X_3$ .

Полученная эквивалентная система (рис. 2,б) равноценна заданной при выполнении канонических уравнений метода сил, которые для заданных условий будут иметь вид [6, 7]:

$$\begin{aligned} \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \delta_{13} X_3 + \Delta_{1p} &= 0, \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \delta_{23} X_3 + \Delta_{2p} &= 0, \\ \delta_{31} X_1 + \delta_{32} X_2 + \delta_{33} X_3 + \Delta_{3p} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\delta_{ik}$  – перемещения балки от воздействия силы  $X_k = 1$  по направлению действия силы  $X_i = 1$ .

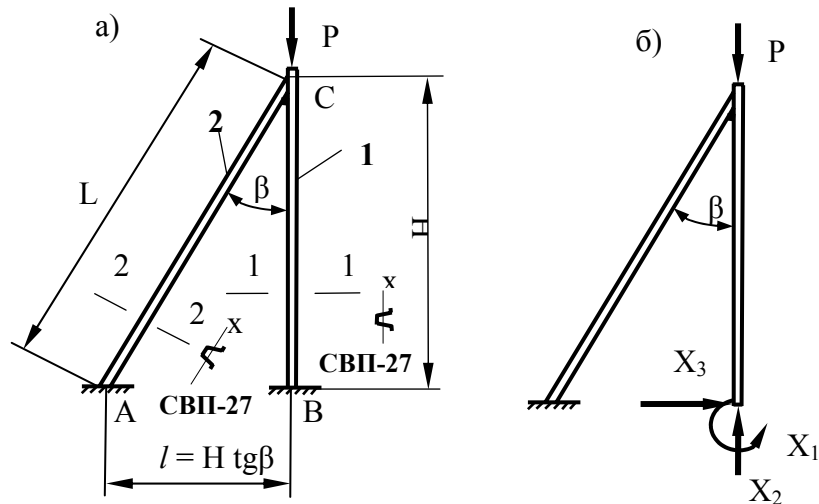


Рис. 2 Общий вид жесткой рамы (а) и ее эквивалентная расчетная схема (б): 1– ножка арочной крепи; 2 – упорная крепь усиления

Перемещения балки  $\delta_{ik}$  найдем с помощью метода начальных параметров [7]. Первое уравнение системы (1) представляет собой условие равенства нулю угла поворота по направлению  $x_1$  от действия  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  и нагрузки  $P$ , второе и третье уравнения – равенства нулю перемещений по направлениям соответственно  $x_2$  и  $x_3$  от всех сил и нагрузки  $P$ .

Поперечное сечение упорной стойки из спецпрофиля СВП-27 (рис. 3) имеет следующие данные [6]:

$a = 150,4$  мм,  $a_1 = 24$  мм,  
 $a_2 = 7$  мм,  $b = 59,5$  мм,  $h = 123$  мм,  
 $h_1 = 59,2$  мм,  $h_2 = 29$  мм,  $h_3 = 13$  мм,  
 $\alpha_2 = \alpha_3 = 12^\circ 40'$ ,  
 $F = 34,40 \text{ см}^2$ ,  $I_x = 639,05 \text{ см}^4$ ,  
 $W_x = 100,2 \text{ см}^3$ ,  
 $I_y = 763,1 \text{ см}^4$ ,  
 $W_y = 101,5 \text{ см}^3$ .

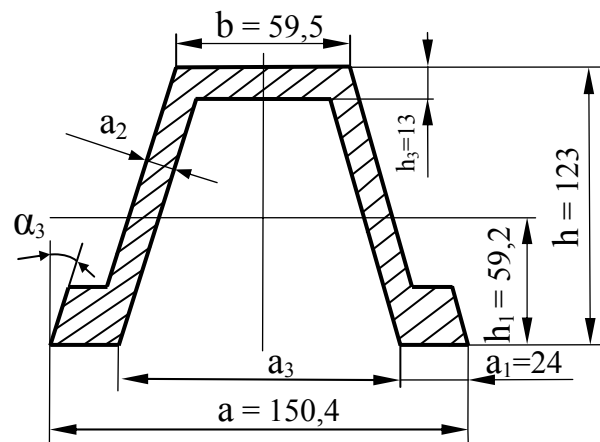


Рис. 3. Поперечное сечение упорной стойки из спецпрофиля СВП-27

Площадь поперечного сечения двух стенок СВП-27 составит:

$$F_{cm} = 2 \frac{a_2}{\cos \alpha_2} (h - h_2 - h_3) = 2 \frac{0,7}{\cos 12^\circ 40'} (12,3 - 2,9 - 1,3) = 11,62 \text{ см}^2.$$

Тогда:

$$\eta = \frac{F}{F_{cm}} = \frac{34,4}{11,62} = 2,96$$

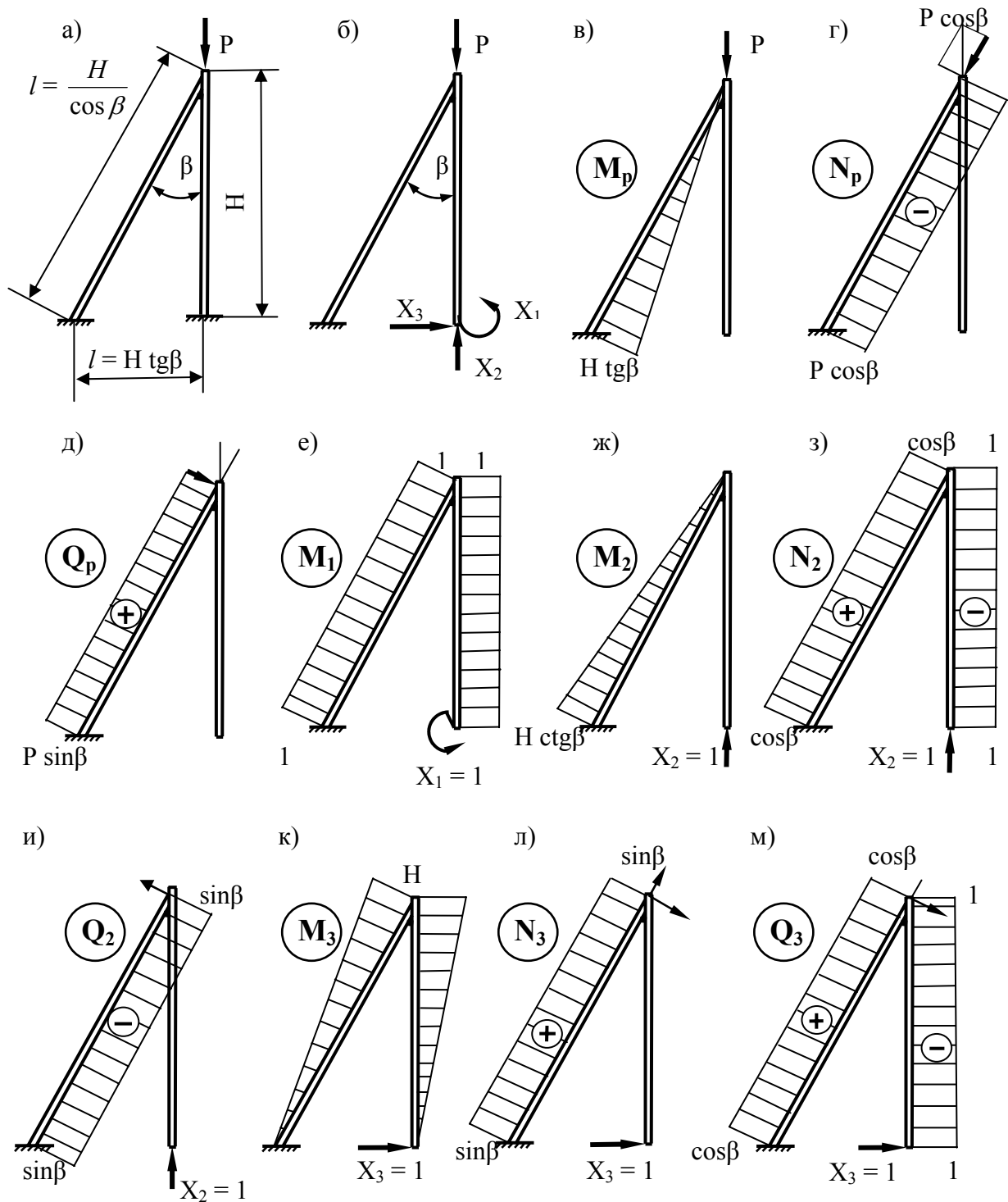
Обозначим отношение момента инерции  $I_x$  к площади поперечного сечения спецпрофиля крепи СВП-27 буквой:

$$\xi_1 = \frac{I_x}{F} = \frac{639,05}{34,4} = 18,577 \text{ см}^2 = 1,8577 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2;$$

тогда отношение жесткостей при изгибе и сдвиге с учетом соотношения коэффициента  $\eta$  составит:

$$\xi_2 = \eta \frac{EI_x}{GF} = \frac{F}{F_{cm}} \frac{2(1+\mu)}{E} E \frac{I_x}{F} = 2(1+\mu) \frac{I_x}{F_{cm}} = 2(1+0,3) \frac{639,05}{11,62} = 142,99 \text{ см}^2 = 14,3 \cdot 10^{-3}.$$

Для вычисления коэффициентов канонических уравнений (1) построим эпюры  $M_{изг}$ ,  $N$  и  $Q$  от действия единичных сил и произвольной заданной нагрузки  $P$  (рис. 4).



**Рис. 4.** Эпюры изгибающих моментов ( $M$ ), продольных ( $N$ ) и поперечных ( $Q$ ) сил в рамной конструкции при произвольных значениях нагрузки и угла наклона упорной стойки

Рассмотрим особенности распределения изгибающих моментов ( $M_{изг}$ ), продольных (N) и поперечных (Q) сил в жесткой рамной конструкции, состоящей из ножки арочной крепи и наклонной упорной стойки, при произвольных нагрузке и угле наклона усиливающей крепи.

Коэффициенты системы уравнений (1) вычисляются по правилу Верещагина [6, 7]:

$$\delta_{ik} = \sum \frac{\omega_{Mi} M_{ic}}{EI_x} + \sum \frac{\omega_{Ni} N_{ic}}{EF} + \sum \frac{\omega_{Qi} Q_{ic}}{GF} \beta \quad (3)$$

или

$$EI_x \delta_{ik} = \sum \omega_{Mi} M_{ic} + \sum \omega_{Ni} N_{ic} \frac{I_x}{F} + \sum \omega_{Qi} Q_{ic} 2(1+\mu) \frac{I_x}{F} \beta \quad (4)$$

На рис. 4а показана схема установки упорной усиливающей стойки к ножке арочной крепи на заданной высоте H под углом наклона  $\beta$  к вертикали, который изменяется в пределах от 0 до  $45^0$ . Длина наклонной упорной стойки может быть представлена в виде:  $L = \frac{H}{\cos \beta}$ , а расстояние между опорами по почве пласта –  $l = H \operatorname{tg} \beta$ .

На рис 4б показана эквивалентная система, равноценная заданной при выполнении канонических уравнений метода сил (1).

На рис. 4в, 4г, 4д представлены эпюры изгибающих моментов, продольных и поперечных сил от заданной нагрузки (силы 2), а на рис 4е – эпюра изгибающих моментов от единичного момента  $X_1 = 1$  (при этом  $N_1 = 0$ ,  $Q_1 = 0$ ); на рис. 4ж, 4з, 4и и 4к, 4л, 4м – представлены эпюры изгибающих моментов, продольных и поперечных сил от  $X_2 = 1$  и  $X_3 = 1$  соответственно.

По правилу Верещагина [6, 7] при произвольных значениях нагрузки P и угле установки упорной стойки  $\beta$  находим коэффициенты системы канонических уравнений (1) для условий рис. 3:

$$EI_x \delta_{ik} = \sum \omega_{Mk} M_{ci} + \sum \omega_{Nk} N_{ci} \xi_1 + \sum \omega_{Qk} Q_{ci} \xi_2, \quad (8)$$

или:

$$EI_x \delta_{11} = L \cdot 1 \cdot 1 + H \cdot 1 \cdot 1 = H (\cos^{-1} \beta + 1); \quad (9)$$

$$EI_x \delta_{12} = EI_x \delta_{21} = H \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{H}{2 \cos \beta} \cdot 1 = \frac{H^2}{2} \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos \beta}; \quad (10)$$

$$EI_x \delta_{13} = EI_x \delta_{31} = \frac{H}{2} \frac{H}{\cos \beta} \cdot 1 + \frac{H}{2} H \cdot 1 = \frac{H^2}{2} (\cos^{-1} \beta + 1); \quad (11)$$

$$EI_x \Delta_{1p} = P \frac{H}{2} \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos \beta} \cdot H \cdot 1 = \frac{PH^2}{2} \frac{\operatorname{tg} \beta}{\cos \beta}; \quad (12)$$

$$EI_x \delta_{22} = \frac{H \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{H}{\cos \beta} \cdot \frac{2}{3} \cdot H \operatorname{tg} \beta + (\cos \beta \frac{H}{\cos \beta} \cos \beta + 1 \cdot H \cdot 1) \xi_1 + \sin \beta \frac{H}{\cos \beta} \sin \beta \xi_2 =$$

$$= H \left[ \frac{H^2}{3} \frac{\operatorname{tg}^2 \beta}{\cos \beta} + \xi_1 (\cos \beta + 1) + \xi_2 \operatorname{tg} \beta \sin \beta \right];$$

$$EI_x \delta_{23} = EI_x \delta_{32} = \frac{H}{2} \frac{H}{\cos \beta} \cdot \frac{1}{3} H \operatorname{tg} \beta + \sin \beta \frac{H}{\cos \beta} \cos \beta \cdot \xi_1 + \cos \beta \frac{H}{\cos \beta} (-\sin \beta) \xi_2 =$$

$$= H \sin \beta \left( \frac{H^2}{6} \cos^{-2} \beta + \xi_1 - \xi_2 \right); \quad (13)$$

$$EI_x \Delta_{2p} = P \cdot \frac{H \operatorname{tg} \beta}{2} \cdot \frac{H}{\cos \beta} \cdot H \cdot \frac{2}{3} \cdot \operatorname{tg} \beta - P \cdot \cos \frac{H}{\cos \beta} \cos \beta \xi_1 - P \sin \beta \frac{H}{\cos \beta} \sin \beta \cdot \xi_2 =$$

$$= -PH \left( \frac{H^2 \operatorname{tg}^2 \beta}{3 \cos \beta} + \xi_1 \cos \beta + \xi_2 \operatorname{tg} \beta \sin \beta \right); \quad (14)$$

$$EI_x \delta_{33} = \frac{H \cdot H}{\cos \beta} \cdot \frac{2}{3} + \frac{H \cdot H}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot H + \sin \beta \cdot \frac{H}{\cos \beta} \cdot \sin \beta \cdot \xi_1 + \xi_2 \left( \cos \beta \cdot \frac{H}{\cos \beta} \cdot \cos \beta + \right.$$

$$\left. + 1 \cdot H \cdot 1 \right) = H \left[ \frac{H^2}{3} (\cos^{-1} + 1) + \xi_1 \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \beta + \xi_2 (\cos \beta + 1) \right]; \quad (15)$$

$$EI_x \Delta_{3p} = P \frac{H \operatorname{tg} \beta}{2} \frac{H}{\cos \beta} \cdot \frac{1}{3} \cdot H - P \cdot \cos \cdot \frac{H}{\cos \beta} \cdot \sin \beta \cdot \xi_1 + P \cdot \sin \beta \cdot \frac{H}{\cos \beta} \cdot \cos \beta \cdot \xi_2 =$$

$$= -PH \cdot \sin \beta \left( \frac{H^2}{6} \cdot \cos^{-2} \beta + \xi_1 - \xi_2 \right). \quad (16)$$

После вычисления коэффициентов по выражениям (8-16) решается система уравнений (1) по методу Крамера [7], т.е. с помощью определителей:

$$X_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad X_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta}; \quad X_3 = \frac{\Delta_3}{\Delta}; \quad (17)$$

где:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} \end{bmatrix}, \quad \Delta_1 = \begin{bmatrix} -\Delta_{1p} & \delta_{12} & \delta_{13} \\ -\Delta_{2p} & \delta_{22} & \delta_{23} \\ -\Delta_{3p} & \delta_{32} & \delta_{33} \end{bmatrix}, \quad \Delta_2 = \begin{bmatrix} \delta_{11} & -\Delta_{1p} & \delta_{13} \\ \delta_{21} & -\Delta_{2p} & \delta_{23} \\ \delta_{31} & -\Delta_{3p} & \delta_{33} \end{bmatrix}, \quad \Delta_3 = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & -\Delta_{1p} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & -\Delta_{2p} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & -\Delta_{3p} \end{bmatrix} \quad (18)$$

В таблице 1 представлены результаты вычислений значений продольных сил в ножках арочной крепи и упорных наклонных стойках из спецпрофиля СВП-27 при различных углах  $\beta$  для двух вариантов расположения жесткого соединения ножек и упорных стоек – на высоте 0,5 и 1,0 м от почвы выработки.

Усилия в ножке крепи равны

$$N_{\text{ножк}} = -X_2, \text{ кН}. \quad (19)$$

Усилия в наклонной упорной стойке определяются по формуле:

$$N_{\text{упор}} = (X_2 - P) \cos \beta + X_3 \sin \beta, \text{ кН}. \quad (20)$$

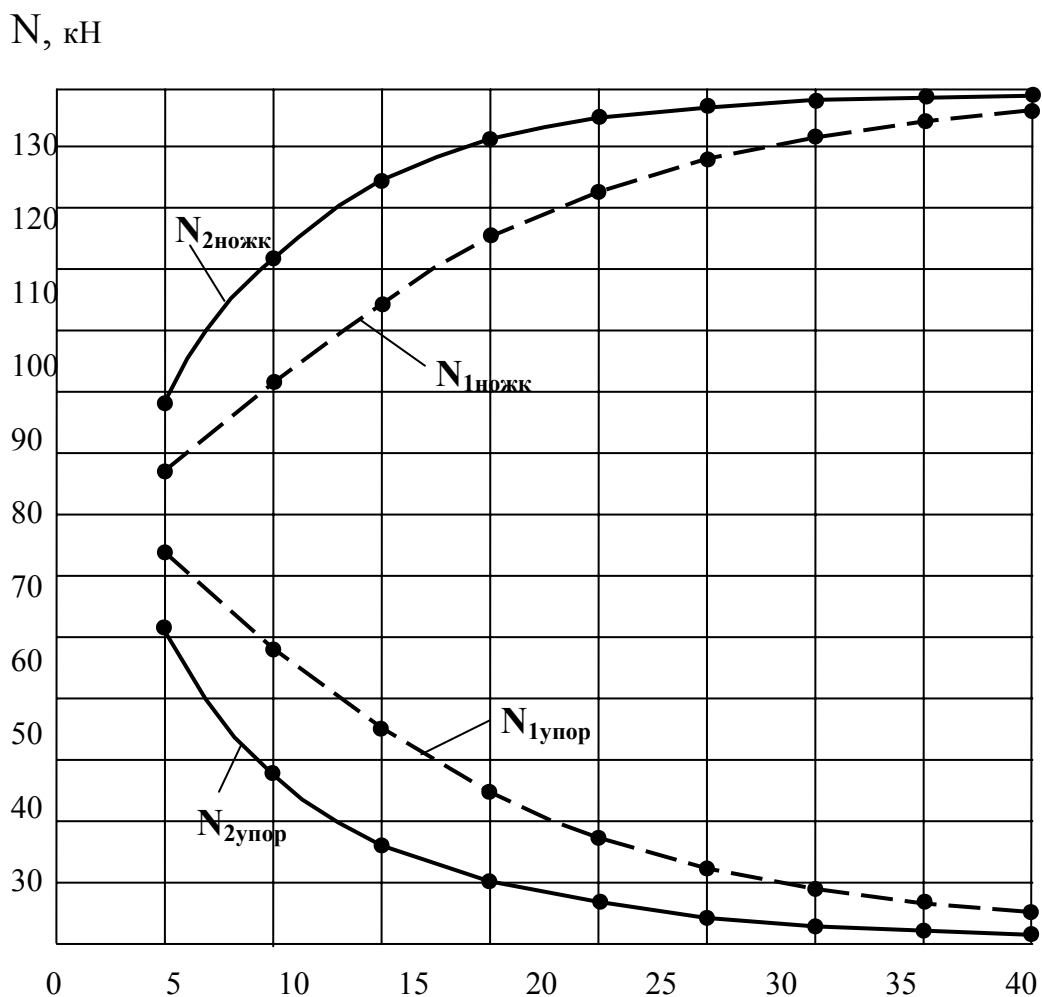
**Табл. 1.** Значения продольных сил в ножках крепи и в упорных стойках

$\beta$		5	10	15	20	25	30	35	40	45
$H_1=0,5$ м	$N_{1\text{упор}}$	-63,48	-49,33	-35,45	-24,87	-17,45	-12,35	-8,82	-6,35	-4,60
	$N_{1\text{ножк}}$	-76,51	-90,64	-104,51	-115,11	-122,56	-127,72	-131,31	-133,85	-135,67
$H_2=1,0$ м	$N_{2\text{упор}}$	-51,44	-28,31	-15,80	-9,47	-6,02	-4,01	-2,92	-1,94	-1,38
	$N_{2\text{ножк}}$	-88,55	-111,69	-124,2	-130,55	-134,01	-136,05	-137,21	-138,17	-138,74

По данным табл. 1 на рис. 5 представлены графики зависимости изменения величины продольных сил в ножке крепи и наклонной упорной стойке.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с увеличением угла наклона упорной стойки к вертикальной оси, продольные силы в ножке крепи возрастают, асимптотически приближаясь к величине давления на ножку крепи без упорной крепи

усиления. Продольные силы в упорной стойке, наоборот, асимптотически снижаются от своих максимальных значений до минимальной величины.



**Рис. 5.** Графики зависимости продольных сил в ножках крепи и наклонной упорной крепи усиления

При увеличении высоты расположения точки жесткого соединения ножки крепи и упорной стойки наблюдается рост продольных сил в ножках крепи и снижение продольных сил в упорных стойках, причем максимальная равенность (около 20%) между величинами продольных сил как в ножках крепи, так и в упорных стойках наблюдается при угле  $\beta = 15^\circ$  (рис. 5).

Отсюда можно сделать вывод, что разработанный алгоритм определения параметров силового взаимодействия элементов жесткой рамной конструкции „ножка арочной крепи - упорная стойка” предоставляет возможность управления напряженно-деформированным состоянием системы „арочная крепь – боковые породы” за счет выбора величины и места приложения компенсирующего силового воздействия на ножку арочной крепи для предотвращения ее деформирования и выдавливания в полость выработки повышенным боковым давлением горных пород. Кроме того предложенная методика позволяет определять параметры силового взаимодействия управлять характером перераспределения нагрузок на почву выработки в зависимости от создавшейся технологической ситуации за счет предварительного определения их рациональных величин.

Жестко соединенная с ножкой крепи наклонная упорная стойка, представляющая собой дополнительную опору арки на почву, позволяет перераспределить общее давление на комплект крепи между этими двумя опорами. При этом за счет снижения величины давления на ножку крепи уменьшается величина вдавливания в почву выработки.

### **Библиографический список**

1. Черняк И. Л., Ярунин С. А. Управление состоянием массива горных пород. М.: Недра, 1995. – 395 с.
2. Литвинский Г. Г., Гайко Г. И., Кулдыраев Н. И. Стальные рамные крепи горных выработок. К.: Техніка, 1999. – 216 с.
3. Бондаренко Ю. В., Соловьев Г. И., Захаров В. С. Изменения деформаций контура кровли выемочной выработки при использовании каркасной крепи усиления // Известия Донецкого горного института. 1999. №1. С.66-70.
4. Соловьев Г. И., Панфилов Ю. Н., Толкачев А. Ф., Малышева Н. Н. Определение рациональных параметров арочной крепи с усиливающим сегментом жесткости // Вісті Донецького гірничого інституту, №1, 2005 р., С.39-46.
5. Соловьев Г. И., Панфилов Ю. Н., О продольно-жестком усилении основной крепи подготовительных выработок глубоких шахт // Известия Тульского государственного университета, 2005. С.177-185.
6. Справочник по теории упругости (для инженеров-строителей). Под ред. П.М.Варвака и А.Ф.Рябова. Будівельник, 1971. – 420 с.
7. Шевченко Ф. Л., Жеданов С. А. Опір матеріалів. Спеціальний курс. Метод початкових параметрів. К.: НМК ВО, 1992. – 228 с.

© Соловьев Г. И., Толкачев А. Ф., Формос В. Ф., Нефедов В. Е., Панфилов Ю. Н., 2006

УДК 626.7.018.7:621.396.96

Канд. техн. наук. ПАСЛЕН В. В., инж. ЩЕРБОВ И. Л., инж. МОТЫЛЕВ К. И., инж. МИХАЙЛОВ М. В. (ДонНТУ)

### **СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НАЗЕМНЫХ И ВОЗДУШНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ**

Мониторинг больших площадей земной поверхности для целей топографии, геологии, экологии эффективно выполнять с различных летательных аппаратов (ЛА). Борт ЛА используется в качестве носителя съемочной аппаратуры. Для выполнения этой работы необходимо знать пространственные координаты ЛА в любой момент времени.

При конструировании и исследовании летных характеристик самолетов и вертолетов в авиастроении применяются высокопроизводительные информационно-измерительные системы (ИИС), базирующихся на данных радиолокационных (РЛС) и кинотеодолитных станций (КТС). В основе математического метода лежат пространственная засечка ЛА. Для повышения точности и достоверности положения ЛА используется избыточная информация о траектории полета, получаемая с большой частотой с одной или более РЛС или КТС.