

УДК 622.673.1

Василькевич В.И., инженер
(НИИГМ им. М.М.Федорова, Киевский филиал)

Дворников В.И. д-р. техн. наук, профессор
(НИИГМ им. М.М.Федорова)

Ильин С.Р., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА АРМИРОВКУ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

Василькевич В.И., инженер
(НДІГМ ім. М.М.Федорова, Київська філія)

Дворніков В.И. д-р. техн. наук, професор
(НДІГМ ім. М.М.Федорова)

Ільїн С.Р., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України);

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА АРМУВАННЯ ШАХТНИХ СТОВБУРІВ

Vasilkevich V.I. M.Sc. (Tech.)
(RIMM named by M.M.Fedorov, Kiev branch)

Dvornikov V.I. D.Sc. (Tech.), Professor
(RIMM named by M.M.Fedorov)

Ilyin S.R., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

DETERMINING OF EXTREME VALUES FOR DYNAMIC LOADS ON THE SHAFT EQUIPMENT

Аннотация. В статье поставлена и решена задача определения экстремальных значений контактных нагрузок, действующих в системе «подъемный сосуд - жесткая армирование» вертикальных стволов угольных шахт и рудников. Обоснована математическая модель динамического взаимодействия сосуда с рельсовыми односторонними и двухсторонними проводниками в главной лобовой плоскости армирования. Определены экстремальные состояния, приводящие к наиболее интенсивному динамическому нагружению проводников в рассматриваемой системе. Получены формулы, связывающие экстремальные значения измеряемых специализированной аппаратурой горизонтальных ускорений направляющих башмаков с максимальными значениями контактных нагрузок в зависимости от инерционных и геометрических параметров сосуда и армирования, предназначенные для использования при динамическом экспресс-мониторинге систем «сосуд-армирование».

Ключевые слова: шахтный ствол, шахтная подъемная установка, проводники армирования ствола, система «сосуд-армирование», динамическое нагружение армирования.

Общие положения

подавляющее количество стволов угольной промышленности оборудовано жесткими армировками с односторонним по отношению к сосуду расположением рельсовых проводников (рис.1).

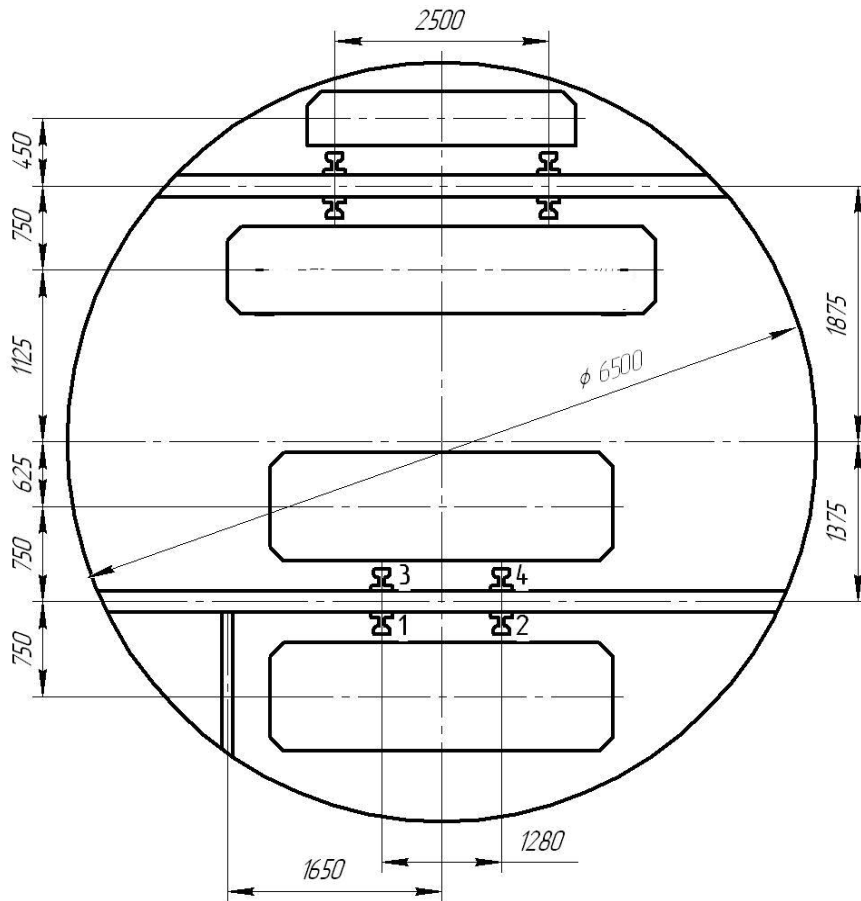


Рисунок 1 - Схема яруса армировки ствола №1
ОП «Шахта «Горецкая»» ГП «Дзержинскуголь»

Нагрузки, действующие на проводники перпендикулярно плоскости расстрелов, вызывают в них самые большие изгибные напряжения и являются причиной накоплений усталостных повреждений, расшатывания в крепи, чем создают предпосылки спонтанного возникновения аварии в стволе. Для оперативного и непрерывного определения их экстремальных значений целесообразно применять максимально упрощенные по измерительной схеме одноточечные методы измерений экстремальных ускорений верхнего или нижнего поясов подъемного сосуда, требующие минимального аппаратного обеспечения и позволяющие оперативно по радиоканалу передавать результаты с подъемного сосуда по стволу в компьютер системы динамического мониторинга на пульте машиниста, но более точные, представленные в работах [1-7]. Для этого необходимо получить достаточно простые, одночленные зависимости значений контактных нагрузок от измеренных специализированной цифровой аппаратурой горизонтальных ускорений направляющих башмаков, дающие «ограничение сверху» на максимально возможные лобовые нагрузки на проводники с учетом переменности функции жесткости проводников на шаге армировки.

Теоретические исследования. В соответствии с расчетной схемой, представленной на рис. 2, движение подъемного сосуда в проводниках жесткой армировки описывается связанной системой пяти дифференциальных

уравнений (1) с переменными коэффициентами [8].

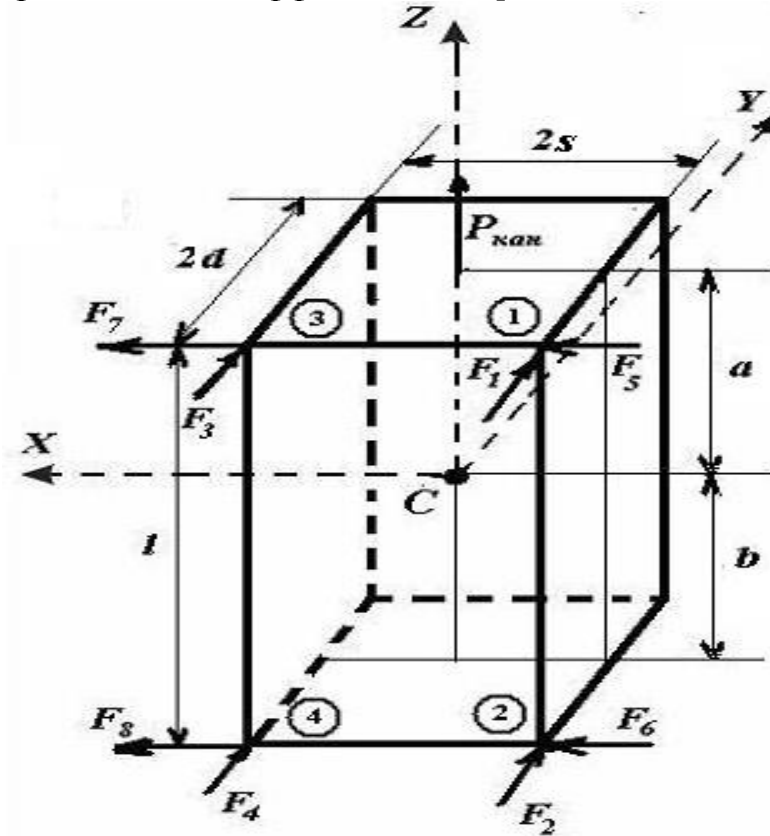


Рисунок 2 - Расчетная схема взаимодействия подъемного сосуда в проводниками

$$\begin{aligned}
 & m\ddot{x} + C_1(z+a)(x+a\psi-s\theta) + C_2(z+a)(x+a\psi+s\theta) + \\
 & + C_1(z-b)(x-b\psi-s\theta) + C_2(z-b)(x-b\psi+s\theta) = 0; \\
 & J_\psi\ddot{\psi} + [C_1(z+a)(x+a\psi-s\theta) + C_2(z+a)(x+a\psi+s\theta)]a - \\
 & - [C_1(z-b)(x-b\psi-s\theta) + C_2(z-b)(x-b\psi+s\theta)]b = 0; \\
 & m\ddot{y} + C_3(z+a)(y+a\varphi) + C_3(z-b)(y-b\varphi) = 0; \\
 & J_\varphi\ddot{\varphi} + C_3(z+a)(y+a\varphi)a - C_3(z-b)(y-b\varphi)b - J_{\varphi\theta}\ddot{\theta} = 0; \\
 & J_\theta\ddot{\theta} + [-C_1(z+a)(x+a\psi-s\theta) + C_2(z+a)(x+a\psi+s\theta)]s + \\
 & + [-C_1(z-b)(x-b\psi-s\theta) + C_2(z-b)(x-b\psi+s\theta)]s - J_{\varphi\theta}\ddot{\varphi} = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $z = Vt$, то есть считается, что сосуд движется в вертикальном направлении с постоянной скоростью V ; $x, y, \varphi, \psi, \theta$ – линейные перемещения центра масс и углы поворота подъемного сосуда; m – масса подъемного сосуда; $J_\varphi, J_\psi, J_\theta, J_{\varphi\theta}$ – центральные моменты инерции подъемного сосуда, причем $J_{\varphi\theta}$ – один из его, не равных нулю, центробежный момент инерции; $C_1(z), C_2(z)$ – функции боковой жесткости соответственно двух ниток проводников; $C_3(z)$ – функция лобовой жесткости проводников (считается, что оба проводника в лобовом направлении обладают одинаковой жесткостью, в противном случае система уравнений превращается в нелинейную);

$$x + a\psi - s\theta, \quad x + a\psi + s\theta, \quad x - b\psi - s\theta, \quad x - b\psi + s\theta, \quad y + a\varphi, \quad y - b\varphi$$

- перемещения четырех точек контакта (направляющих скольжения) в боковом и лобовом направлениях.

Ввиду того, что переменная z является координатой центра масс груженого сосуда, значения функций жесткости в местах контакта направляющей с проводником входят в уравнения со сдвигом, например,

$$C_1(z + a), \quad C_2(z - b),$$

где a и b – расстояния по вертикали от центра масс сосуда до верхних и нижних направляющих устройств скольжения.

Достаточно большое число параметров, входящих в систему уравнений, не позволяют непосредственно установить сложную взаимосвязь между ними. Поэтому анализ свойств системы целесообразно выполнить для некоторых частных случаев, реализованных в большинстве действующих установок.

Основное количество клетей, работающих в угольных шахтных стволах, из-за большой податливости околоствольного горного массива имеют одностороннее расположение проводников и две плоскости симметрии. С учетом этого на основании (1) запишем общие уравнения лобовых колебаний подъемного сосуда в проводниках жесткой армировки в следующей форме:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{y} + C_{.1}(z + a)(y + a\varphi + s\theta) + C_{.1}(z - b)(y - b\varphi + s\theta) + \\ + C_{.2}(z + a)(y + a\varphi - s\theta) + C_{.2}(z - b)(y - b\varphi - s\theta) = 0, \\ J_{\varphi}\ddot{\varphi} + C_{.1}(z + a)(y + a\varphi + s\theta)a - C_{.1}(z - b)(y - b\varphi + s\theta)b + \\ + C_{.2}(z + a)(y + a\varphi - s\theta)a - C_{.2}(z - b)(y - b\varphi - s\theta)b, \\ J_{\theta}\ddot{\theta} + C_{.1}(z + a)(y + a\varphi + s\theta)s + C_{.1}(z - b)(y - b\varphi + s\theta)s - \\ - C_{.2}(z + a)(y + a\varphi - s\theta)s - C_{.2}(z - b)(y - b\varphi - s\theta)s = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Учтем также здесь, что фактически функции лобовой жесткости обоих проводников равны между собой ($C_{.1}(z) = C_{.2}(z)$). В системе уравнений (2) считается, что: y – перемещение центра тяжести клетки в направлении, перпендикулярном плоскости расстрелов; φ – угол поворота клетки относительно центральной оси, параллельной плоскости расстрелов; θ – угол поворота клетки относительно вертикальной центральной оси. Кроме того; a, b – соответственно расстояния по вертикали от центра тяжести клетки до верхних и нижних направляющих устройств (жестких башмаков закрытого типа); s – половина расстояния по горизонтали между направляющими устройствами. В обозначениях

$$\xi = \frac{Vt}{h}, \quad \mu^2 = \frac{C_p h^2}{mV^2}, \quad k_{\varphi}^2 = \frac{mL^2}{4J_{\varphi}}, \quad k_{\theta}^2 = \frac{ms^2}{J_{\theta}}, \quad \eta = \frac{a+b}{h} = \frac{L}{h}, \quad (3)$$

где m – масса груженой клетки, V – ее скорость в вертикальном направлении, C_x^p – жесткость расстрела в лобовом направлении, h – шаг армировки, L – расстояние по вертикали между направляющими устройствами на клетки, систему уравнений (2) представим также в виде

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} + \mu^2 [f(\xi)(y + a\varphi + s\theta) + f(\xi - \eta)(y - b\varphi + s\theta) + \\ + f(\xi)(y + a\varphi - s\theta) + f(\xi - \eta)(y - b\varphi - s\theta)] = 0, \\ \ddot{\varphi} + \mu^2 k_\varphi^2 \frac{4}{L^2} [f(\xi)(y + a\varphi + s\theta)a - f(\xi - \eta)(y - b\varphi + s\theta)b + \\ + f(\xi)(y + a\varphi - s\theta)a - f(\xi - \eta)(y - b\varphi - s\theta)b], \\ \ddot{\theta} + \mu^2 k_\theta^2 \frac{1}{s^2} [f(\xi)(y + a\varphi + s\theta)s + f(\xi - \eta)(y - b\varphi + s\theta)s - \\ - f(\xi)(y + a\varphi - s\theta)s - f(\xi - \eta)(y - b\varphi - s\theta)s] = 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Здесь и далее производные берутся по ξ . В дальнейшем дробную часть фазы возмущающей силы η примем равной нулю (фактически она не превышает 0,1 [3]), тогда система (3) преобразуется к виду

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} + \mu^2 f(\xi)[(y + a\varphi + s\theta) + (y - b\varphi + s\theta) + \\ + (y + a\varphi - s\theta) + (y - b\varphi - s\theta)] = 0, \\ \ddot{\varphi} + \mu^2 k_\varphi^2 \frac{4}{L^2} f(\xi)[(y + a\varphi + s\theta)a - (y - b\varphi + s\theta)b + \\ + (y + a\varphi - s\theta)a - (y - b\varphi - s\theta)b] = 0, \\ \ddot{\theta} + \mu^2 k_\theta^2 \frac{1}{s^2} f(\xi)[(y + a\varphi + s\theta)s + (y - b\varphi + s\theta)s - \\ - (y + a\varphi - s\theta)s - (y - b\varphi - s\theta)s] = 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Заметим, что в (5) переменные

$$y_1 = y + a\varphi + s\theta, \quad y_2 = y - b\varphi + s\theta, \quad y_3 = y + a\varphi - s\theta, \quad y_4 = y - b\varphi - s\theta \quad (6)$$

являются перемещениями башмаков в лобовом направлении соответственно: правого верхнего, правого нижнего, левого верхнего, левого нижнего (рис. 2). В силу этого система (5) примет форму

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} + \mu^2 f(\xi)(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) = 0, \\ \ddot{\varphi} + \mu^2 k_\varphi^2 \frac{4}{L^2} f(\xi)[(y_1 + y_3)a - (y_2 + y_4)b] = 0, \\ \ddot{\theta} + \mu^2 k_\theta^2 \frac{1}{s^2} f(\xi)(y_1 + y_2 - y_3 - y_4)s = 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

При помощи соотношений (7) и обозначений (6) нетрудно получить дифференциальные уравнения относительно лобовых перемещений направляющих устройств в виде

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y}_1 + \mu^2 f(\xi) \{ & (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) + \\ & + k_\phi^2 [(y_1 + y_3)(1 + \varepsilon)^2 - (y_2 + y_4)(1 - \varepsilon)^2] + \\ & + k_\theta^2 (y_1 + y_2 - y_3 - y_4) \zeta^2 \} = 0. \\ \ddot{y}_2 + \mu^2 f(\xi) \{ & (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) - \\ & - k_\phi^2 [(y_1 + y_3)(1 - \varepsilon)^2 - (y_2 + y_4)(1 + \varepsilon)^2] + \\ & + k_\theta^2 (y_1 + y_2 - y_3 - y_4) \zeta^2 \} = 0. \\ \ddot{y}_3 + \mu^2 f(\xi) \{ & (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) + \\ & + k_\phi^2 [(y_1 + y_3)(1 + \varepsilon)^2 - (y_2 + y_4)(1 - \varepsilon)^2] - \\ & - k_\theta^2 (y_1 + y_2 - y_3 - y_4) \zeta^2 \} = 0. \\ \ddot{y}_4 + \mu^2 f(\xi) \{ & (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) - \\ & - k_\phi^2 [(y_1 + y_3)(1 - \varepsilon)^2 - (y_2 + y_4)(1 + \varepsilon)^2] - \\ & - k_\theta^2 (y_1 + y_2 - y_3 - y_4) \zeta^2 \} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При записи уравнений (8) использовались обозначения:

$$\varepsilon = \frac{a-b}{L}, \quad a = \frac{L}{2}(1+\varepsilon), \quad b = \frac{L}{2}(1-\varepsilon), \quad \zeta = \frac{2s}{L}. \quad (9)$$

Из четырех уравнений системы (8) одно из них является, естественно, линейно зависимым от остальных, поэтому общее количество линейно независимых уравнений по-прежнему остается равным трем.

Рассмотрим ряд экстремальных состояний, приводящих к наиболее интенсивному динамическому нагружению проводников в рассматриваемой системе. Прежде всего, заметим, что для этого необходимо рассматривать случаи, когда

$$|y_1| = |y_2| = |y_3| = |y_4|,$$

так как лишь в этом случае динамическое состояние может быть экстремальным. При этом возможны следующие варианты.

A. $y_1 = y_2 = y_3 = y_4 = y_{extr}$. Тогда в силу (8)

$$\ddot{y}_{extr} = -4\mu^2 f(\xi) y_{extr} [1 \pm k_\phi^2 \varepsilon (1 \pm \varepsilon)]. \quad (10)$$

Заметим, что соотношение (10) в этом случае не является

дифференциальным уравнением, а есть выражение для экстремального ускорения \ddot{y}_{extr} . То же относится и к последующим далее аналогичным соотношениям. В (10) верхний знак в символе « \pm » соответствует верхним башмакам, а нижний – нижним башмакам.

Б. $y_1 = -y_2 = y_3 = -y_4 = y_{extr}$. Тогда в силу (8)

$$\ddot{y}_{extr} = \mp 4\mu^2 f(\xi) y_{extr} k_\phi^2 (1 \pm \varepsilon). \quad (11)$$

В (11) верхний знак в символах « \pm » и « \mp » соответствует верхним башмакам, а нижний – нижним башмакам.

В. $y_1 = y_2 = -y_3 = -y_4 = y_{extr}$. Тогда в силу (8)

$$\ddot{y}_{extr} = \mp 4\mu^2 f(\xi) y_{extr} k_\theta^2 \zeta^2. \quad (12)$$

В (12) верхний знак в символе « \mp » соответствует верхним башмакам, а нижний – нижним башмакам.

Аргумент функции $f(\xi)$ в выражениях (10), (11), (12), вообще говоря, есть вполне конкретное число, но для дальнейших выкладок в его численном определении нет необходимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализируя соотношения (10), (11) и (12), можно прийти к выводу о том, что максимальное ожидаемое ускорение соответствует варианту **А**, следовательно, с учетом обозначений (3) имеем

$$\left| \max \left(\frac{d^2 y_{extr}}{dt^2} \right) \right| \frac{h^2}{V^2} = 4 \frac{C_n^p h^2}{m V^2} f(\xi) y_{extr} [1 + k_\phi^2 |\varepsilon| (1 + |\varepsilon|)]. \quad (13)$$

А так как $C_n^p f(\xi) y_{extr} = F_{extr}$, что соответствует экстремальному усилию взаимодействия башмака с проводником, то из (13) получим

$$F_{extr} = \left| \max \left(\frac{d^2 y_{extr}}{dt^2} \right) \right| \frac{m}{4[1 + k_\phi^2 |\varepsilon| (1 + |\varepsilon|)]}. \quad (14)$$

В (14) множитель

$$\frac{m}{4[1 + k_\phi^2 |\varepsilon| (1 + |\varepsilon|)]} = m_{y0} \quad (15)$$

и является «массой, участвующей в ударе», приведенной к точке контакта. Заметим также, что в случае двухсторонних проводников (в этом случае на рис. 2 параметр $d=0$) вместо (14) следует пользоваться формулой

$$F_{extr} = \left| \max \left(\frac{d^2 y_{extr}}{dt^2} \right) \right| \frac{m}{2[1 + k_\phi^2 |\varepsilon| (1 + |\varepsilon|)]}. \quad (16)$$

В этих формулах $\frac{d^2 y_{extr}}{dt^2}$ является максимальным значением лобового ускорения, измеренным аппаратурой на корпусе направляющего башмака.

Получим обратную зависимость, необходимую для оценки ожидаемых максимальных значений ускорений направляющих башмаков в зависимости от экстремальных значений контактных усилий в стволе с конкретной схемой и шагом ярусов армировки, необходимую для определения исходных данных при расчете параметров аппаратуры контроля плавности движения подъемных сосудов в данном стволе. Для этого обратимся снова к выражению (13). Запишем его в представлении $C_n^p f(\xi) y_{extr} = F_{extr}$ с подстановкой $F_{extr} = F$, где в соответствии с [9]

$$F = \frac{2\pi^2 \cdot \delta \cdot k_p^2 (m \cdot V^2)}{h^2} \beta. \quad (17)$$

Применительно к односторонним проводникам $k_p = 1$. Тогда

$$\left| \max \left(\frac{d^2 y_{extr}}{dt^2} \right) \right| = \frac{16\pi^2 \delta \cdot V^2}{h^2} \beta [1 + k_\phi^2 |\varepsilon| (1 + |\varepsilon|)]. \quad (18)$$

Таблица 1– Значения коэффициента β в зависимости от параметров σ , Δ/δ , ε

Δ/δ	$\lg \sigma$ ε	0÷0,6	0,6÷1,2	1,2÷1,8	1,8÷2,4	2,4÷3,0	3,0÷3,6
		0	0,91	0,89	0,70	0,60	0,54
0	0,2	1,14	1,09	0,84	0,72	0,64	0,62
	0,5	1,59	1,58	1,20	1,02	0,90	0,82
	0	1,25	1,05	0,78	0,66	0,61	0,59
0,5	0,2	1,48	1,25	0,95	0,78	0,73	0,71
	0,5	2,04	1,70	1,31	1,10	1,00	0,85
	0	1,58	1,40	1,03	0,81	0,79	0,73
1,0	0,2	1,88	1,66	1,25	0,98	0,93	0,85
	0,5	2,45	2,08	1,56	1,28	1,18	1,07

Для практического использования соотношения (18) в программном обеспечении комплекса динамического экспресс-контроля армировки необходимо в базу данных ввести значения β , заданные в таблице 1, полученной в работе [9].

Выводы. Полученные решения устанавливают зависимость горизонтальных ускорений башмаков и экстремальных значений контактных усилий между башмаками и проводниками при движении подъемного сосуда в жесткой армировке вертикальных стволов.

Полученные соотношения могут быть использованы в математическом обеспечении программно-аппаратного комплекса экспресс-мониторинга плавности движения сосудов.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Самуся, В.И. Динамика канатных и гидротранспортных подъемных комплексов горных предприятий / В.И. Самуся, С.Р. Ильин, В.Е. Кириченко, И.С. Ильина // М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 302 с. Режим доступа: http://gm.nmu.org.ua/ru/Naukovi%20publikazii/naukovi_publicazii.php
2. Трифанов, Г.Д. Испытание системы контроля плавности движения подъемного сосуда в шахтном стволе. / Г.Д. Трифанов, А.Ю. Микрюков // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – № 12. – С. 16-22.
3. Folta, Z., Přeček, H., Havlík J.: *The dynamics of the mine hoist conveyance*. In Doprava a logistika - Transport and Logistic - dvojjazyčný (slovensko-anglický) časopis. Číslo 7, Košice-Beograd: TU Košice, listopad 2004, s. 32...40. ISSN 1451-107X.
4. Ilyin, S. R. (2010) “The experience of dynamic apparatus control and estimation of exploitation system safety “vessel – reinforcement” of vertical mining shafts”, *The International Journal of transport & logistics*, Kosice, pp.395-403.
5. Смычкин, А.Д. Совершенствование армировки вертикальных шахтных стволов для новых калийных рудников. / А.Д. Смычкин В.А. Сорокин // Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование. Сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. Под ред. А.Н.Земскова. Вып. 5. – Пермь. ООО «Проектное бюро «Рейкьявик», 2009. -64-70.
6. Воробель, С.В. Динамическое обследование жёсткой армировки шахтных стволов / С.В. Воробель, Г.Д. Трифанов, А.А. Князев // Проблемы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых в Пермском крае: материалы краевой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007. – с.195 – 201
7. Płachno, M. (2005) “New approach to the design of shaft steelwork”, *Mining sciences* 50, Issue 4, Krakow.- pp. 465-496.
8. Гаркуша, Н.Г., Дворников В.И. Рациональный выбор параметров подъемных сосудов и жестких армировок вертикальных стволов. – Шахтное строительство, 1968. - №1, С. 4-8.
9. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт. Донецк.: НИИГМ им. М.М.Федорова, 1994 – 145 с.

REFERENCES

1. Samusja V.I., Il'in, S.R., Kirichenko, V.E. and Il'ina, I.S. (2015), «Dinamika kanatnykh i gidrotransportnykh podzemnykh kompleksov gornykh predpriyatiy», available at: http://gm.nmu.org.ua/ru/Naukovi%20publikazii/naukovi_publicazii.php,
2. Trifanov, G.D. and Mikrjukov, A.Ju. (2014), «Test of the checking system of smoothness of motion of lifting vessel in a mine trunk», *Gornoye oborudovaniye i elektromekhanika*, no. 12, pp. 16-22.
3. Folta, Z., Přeček, H. and Havlík J. (2004), «The dynamics of the mine hoist conveyance. In Doprava a logistika», *Transport and Logistic - dvojjazyčný (slovensko-anglický) časopis. Číslo 7, Košice-Beograd: TU Košice, listopad 2004*, vol. 32...40, ISSN 1451-107X.
4. Ilyin S. R. (2010) “The experience of dynamic apparatus control and estimation of exploitation system safety “vessel – reinforcement” of vertical mining shafts”, *The International Journal of transport & logistics*, Kosice, pp.395-403.
5. Smychkin, A.D. and Sorokin, V.A. (2009), «Perfection of equipment of vertical mine trunks for new potassium mines», *Rudnik budushhego: proekty, tehnologii, oborudovanie. Sb. tr. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Pod red. A.N.Zemskova*, [Mine of the future: projects, technologies, equipment. Sb. tr. mezhdunar. nauch.-pract.. konf. Under red. A.N. Zemskov], Vyp. 5, ООО «Proektnoe bjuro «Rejk'javik», Perm, RU, pp.64-70.
6. Vorobel S.V., Trifanov G.D. and Knyazev, A.A. (2007), “Dynamic Survey rigid reinforcement shafts Problems of the integrated development of mineral deposits in the Perm region”, *Materialy krayevoy nauchno-tekhnscheskoy konferentsii studentov < aspirantov I molodykh uchyenikh*, [Materials the edge scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists], Perm Publishing House of Perm State Technical University, Perm, RU,- pp. 195 – 201.
7. Płachno, M. (2005) “New approach to the design of shaft steelwork”, *Mining sciences* 50, Issue 4, Krakow, pp. 465-496.
8. Garkusha, N.G. and Dvornikov, V.I. (1968), «Rational choice of parameters of lifting vessels and hard equipments of vertical trunks», *Shakhtnoye stroitelstvo*, no. 1, pp. 4-8.
9. *Metodika raschyeta zhyestkikh armirovok vertikalnykh stvolov shakht* [Method of calculating the rigid reinforcement vertical shafts] (1994), M.M. Fedorov Research Institute of mining mechanics (ed.), Donetsk,

Ukraine.

Об авторах

Василькевич Виктор Иванович, научный сотрудник Научно-исследовательского института горной механики им. М.М.Федорова, Киевский филиал, Киев, Украина

Дворников Владимир Иванович, д-р техн. наук, профессор Научно-исследовательского института горной механики им. М.М.Федорова, Украина

Ильин Сергей Ростиславович, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., заведующий лабораторией проблем диагностики и испытаний оборудования шахтных подъемных комплексов Института геотехнической механики им. Н.С.Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, iljin_sr@mail.ru

About the authors

Vasilkevich Viktor Ivanovich, Researcher, Scientific Research Institute of Mining Mechanics. M.M.Fedorova, Kiev branch, Kiev, Ukraine

Dvornikov Vladimir Ivanovich, D.Sc. (Tech.), Professor, Scientific Research Institute of Mining Mechanics named by M.M.Fedorov, Ukraine

Ilyin Sergey Rostislavovich, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher., Chief of the Laboratory of diagnostics and testing equipment mine hoist systems, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnepropetrovsk, Ukraine, iljin_sr@mail.ru

Анотація. У статті поставлена і вирішена задача визначення екстремальних значень контактних навантажень, що діють в системі «підйомна посудина - жорстке армування» вертикальних стовбурів вугільних шахт та копалень. Обґрунтовано математичну модель динамічної взаємодії посудини з рейковими односторонніми і двосторонніми провідниками в головній лобовій площині армування. Визначено екстремальні стани, що призводять до найбільш інтенсивного динамічного навантаження провідників у розглянутій системі. Отримано формули, що зв'язують екстремальні значення вимірюваних спеціалізованою апаратурою горизонтальних прискорень напрямних башмаків з максимальними значеннями контактних навантажень залежно від інерційних та геометричних параметрів посудини і армування, призначені для використання при динамічному експрес-моніторингу систем «посудина-армування».

Ключові слова: шахтний стовбур, шахтна підйомна установка, провідники армування стовбура, система «посудина-армування», динамічне навантаження армування.

Abstract. The authors formulate a problem of determination of extreme values for the contact loadings in the "cage - rigid shaft equipment " system in the vertical shafts of the coal mines, and propose the way of this problem solving. Mathematical model of dynamic interaction between the cage and unilateral or bilateral rail guides in the main frontal plane of the shaft equipment is validated. Extreme states, which lead to the most intensive dynamic loads on the system guides, were determined. The formulas are presented, which link extreme values of the edge-runner horizontal accelerations, measured by specialized equipment, to maximum values of the contact loads depending on inertial and geometrical parameters of the cage and shaft equipment. These formulas can be used for dynamic rapid monitoring of the "cage-shaft equipment" systems.

Keywords: mine shaft, mine hoisting plant, rail guides in the shaft equipment, "cage-shaft equipment" system, dynamic loading on the shaft equipment

Статья поступила в редакцию 30.01.2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским