

УДК 622.258.3

А. Ю. Прокопов<sup>1</sup>, С. В. Борщевский<sup>2</sup>, В. Ф. Формос<sup>2</sup>, А. А. Михеева<sup>2</sup><sup>1</sup> Ростовский государственный строительный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия,<sup>2</sup> ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина

## К вопросу определения дополнительных нагрузок на жесткую армировку стволов от эксцентриситета загрузки скипов

Исследовано влияние неравномерности загрузки скипов на формирование дополнительных усилий на проводники. Рассчитаны возможные значения дополнительных лобовых и боковых усилий на армировку в зависимости от массы скипа, величины и направления эксцентриситета его центра масс. Предложено учитывать дополнительные силы от эксцентриситета подъемного сосуда при расчете эксплуатационных нагрузок на армировку стволов с высокой интенсивностью подъема.

Ключевые слова: армировка, ствол, нагрузки, подъемный сосуд.

Эксцентриситет центра масс подъемного сосуда характеризует несимметричность расположения жестких рабочих или предохранительных направляющих относительно центра масс груженого сосуда по вертикали  $e_v$  и в горизонтальной плоскости  $e_r$ .

Согласно действующей нормативной методике [1], при расчете горизонтальных (лобовых и боковых) эксплуатационных нагрузок на армировку учитывается только эксцентриситет  $e_v$ , возникающий в вертикальной плоскости,

$$e_v = \frac{|l_1 - l_2|}{|l_1 + l_2|},$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – расстояния по вертикали от центра масс подъемного сосуда до верхних и нижних направляющих устройств.

Он обусловлен геометрией и конструкцией подъемного сосуда, поэтому для каждой клетки или скипа является величиной постоянной.

В то же время *эксцентриситет сосуда в горизонтальной плоскости*, обусловленный неравномерностью загрузки скипа или клетки, действующей методикой не учитывается, хотя вследствие образующегося опрокидывающего момента может возникать перекося подъемного сосуда и, как следствие, дополнительная нагрузка на проводники. Величина эксцентриситета в горизонтальной плоскости имеет вероятностный характер, так как зависит от степени несимметричности загрузки, которая, по данным ВНИИОМШСа, может достигать для скипов  $0,1 \div 0,15Q_r$  и для клеток –  $0,3 \div 0,5 Q_r$ , где  $Q_r$  – суммарный вес груза.

Исходя из этого, рассмотрим возможную область нахождения центра масс груженого подъемного сосуда в горизонтальной плоскости (рис. 1).

Согласно уравнениям, определяющим положение декартовых координат центра масс, имеем

$$x_C = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N m_i x_i \text{ и } y_C = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N m_i y_i, \quad (1)$$

где  $m$  – суммарная масса системы,  $m_i$ ,  $x_i$ ,  $y_i$  – масса и координаты центра масс  $i$ -й частицы.

Пусть точка  $O$  – геометрический центр скипа. Пренебрегая незначительными отклонениями, связанными с конструктивными особенностями скипов различных конструкций, будем считать точку  $O$  центром масс порожнего скипа. Поэтому отклонения центра масс груженого скипа от точки  $O$  будут обусловлены только его неравномерной загрузкой горной массой. Разделим сечение скипа осью  $y$  на 2 равные части. Пусть точка 1 – центр масс левой половины скипа, точка 2 – правой половины. При равномерной загрузке масса груза в каждой половине составит

$$m_1 = m_2 = \frac{m_{гр}}{2},$$

где  $m_{гр}$  – общая масса груза, кг.

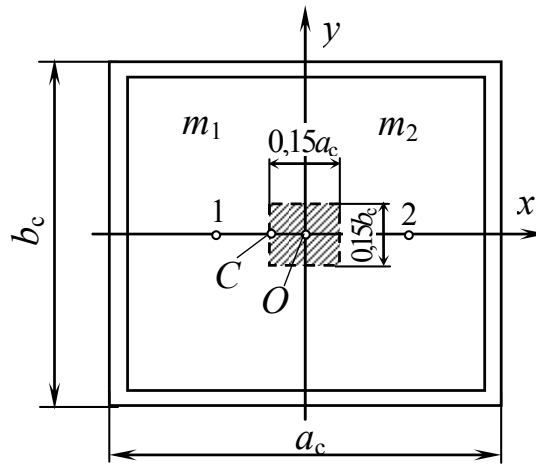


Рис. 1. Схема к определению возможного положения центра масс грузеного подъемного сосуда:  $m_1$  и  $m_2$  – соответственно массы грузов в левой и правой половинах

Используя данные ВНИИОМШСа о возможной несимметричности загрузки скипа, т.е. разницы между  $m_1$  и  $m_2$  на  $0,15 m_{гр}$ , получим систему:

$$\begin{cases} m_1 - m_2 = 0,15 m_{гр}; \\ m_1 + m_2 = m_{гр}, \end{cases}$$

решив которую, найдем возможные массы грузов в левой и правой половинах скипа:

$$m_1 = 0,575 m_{гр}; \quad (2)$$

$$m_2 = 0,425 m_{гр}. \quad (3)$$

Предположив отсутствие эксцентриситета относительно оси  $x$ , координаты точки 1 составят  $(-a_c/2, 0)$ , а точки 2 –  $(a_c/2, 0)$ .

Используя соотношения (2), (3) и уравнения (1), найдем координаты центра масс  $C$  неравномерно загруженного скипа. Массы стенок скипа в силу их симметричности относительно точки  $O$  не учитываем.

$$x_C = \frac{1}{m_{гр}} \left( 0,575 m_{гр} \left( -\frac{a_c}{2} \right) + 0,425 m_{гр} \frac{a_c}{2} \right) = \frac{1}{m_{гр}} \left( -0,15 \cdot \frac{a_c}{2} m_{гр} \right) = -0,075 a_c;$$

$$y_C = 0.$$

Таким образом, координаты точки  $C$  составят  $(-0,075 a_c; 0)$ . При аналогичном несимметричном нагружении с перегрузом правой половины координаты точки  $C$  составят  $(0,075 a_c; 0)$ .

Аналогично рассмотрев эксцентриситет загрузки скипа относительно оси  $y$ , найдем максимальные координаты центра масс в этом случае:  $C(0; -0,075 b_c)$  или  $C(0; 0,075 b_c)$ .

Таким образом, ожидаемая область расположения центра масс грузеного скипа представляет собой прямоугольник, ограниченный точками с координатами

$$(-0,075 a_c; -0,075 b_c); (-0,075 a_c; 0,075 b_c); (0,075 a_c; 0,075 b_c); (0,075 a_c; -0,075 b_c),$$

т.е. заштрихованная область на рис. 1.

Следовательно, при дальнейших расчетах максимальные значения эксцентриситетов скипов будем принимать равными

$$e_x = 0,075 a_c; \quad (4)$$

$$e_y = 0,075 b_c. \quad (5)$$

Рассмотрим влияние эксцентриситета скипа в горизонтальной плоскости на формирование дополнительных усилий на проводники. В зависимости от направления смещения центра масс в горизонтальной плоскости возможны следующие варианты распределения нагрузок на проводники.

**Вариант 1.** Центр масс смещен вдоль оси  $y$ , соединяющей противоположные проводники, до точки  $E_1$  (рис. 2). В этом случае скип, пытаясь повернуться относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось  $x$ , создает в лобовом направлении усилие на верхнюю опору  $A$  и симметричную ей относительно точки  $O$  нижнюю опору  $B$ .

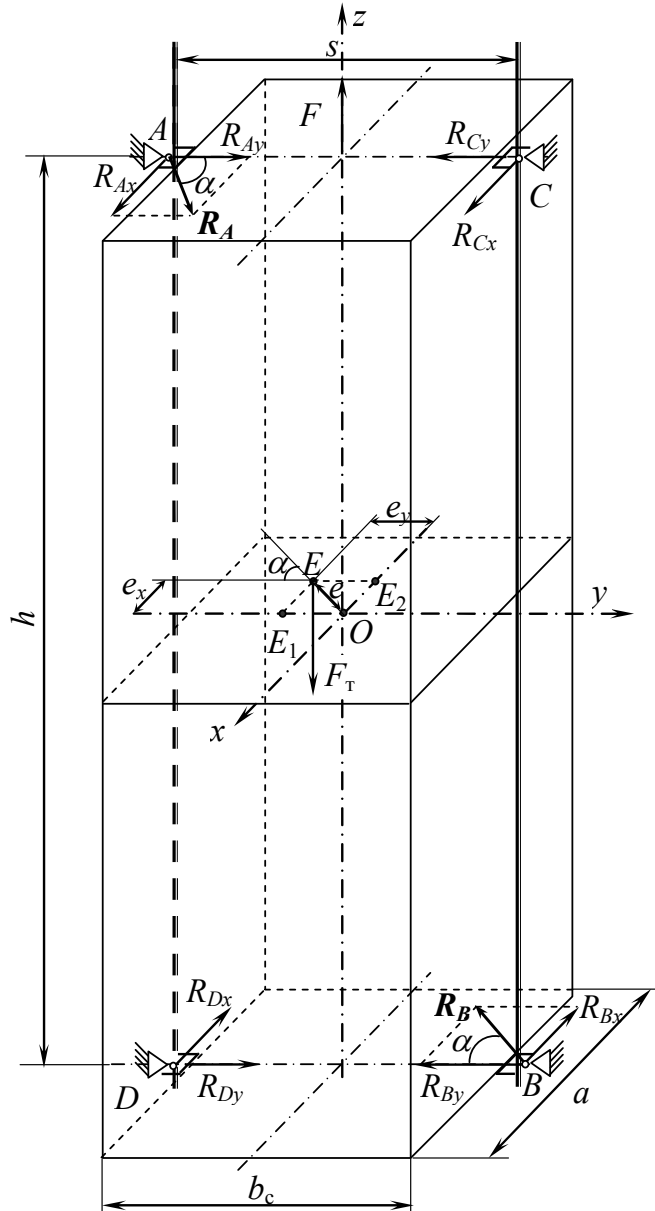


Рис. 2. Схема к определению дополнительных усилий на проводники при смещении центра масс подъемного сосуда.

На подъемный сосуд действуют сила натяжения каната  $F_{нат}$ , сила тяжести  $F_T$ , смещенная относительно геометрического центра скипа на величину эксцентриситета  $e_y$ , а также возникают реакции опор  $R_{Ay}$  и  $R_{By}$  в точках передачи нагрузок от скипа на проводники 1 и 2 через направляющие лапы. Поскольку лобовые усилия не передаются на опоры  $C$  и  $D$ , а боковые вообще отсутствуют, то все остальные опорные реакции равны 0.

На основании решения уравнений равновесия системы найдем опорные реакции  $R_{Ay}$  и  $R_{By}$  и соответствующие им лобовые усилия на проводники:

$$R_{By} = \frac{mg \frac{s}{2} - mg \left( \frac{s}{2} - e_y \right)}{h} = \frac{mg \left( \frac{s}{2} - \frac{s}{2} + e_y \right)}{h} = \frac{mge_y}{h}.$$

$$R_{Ay} = \frac{mg \left( \frac{s}{2} + e_y \right) - mg \frac{s}{2}}{h} = \frac{mg \left( \frac{s}{2} + e_y - \frac{s}{2} \right)}{h} = \frac{mge_y}{h}. \quad (6)$$

С учетом значения максимального эксцентриситета относительно оси  $y$  (5) значения реакционной опоры и соответствующих лобовых сил на проводники запишутся

$$R_{Ay} = R_{By} = \frac{0,075mgb_c}{h}.$$

В соответствии с 3-м законом Ньютона, найденные значения опорных реакций будут равны соответствующим воздействиям на проводник, т.е. лобовая сила на проводник в точках прилегания направляющих устройств  $A$  и  $B$  от смещения центра масс груженого сосуда вдоль оси  $y$  составит

$$P_{\text{лоб}} = R_{Ay} = R_{Ax}.$$

**Вариант 2. Центр масс смещен вдоль оси  $x$  до точки  $E_2$ .** В этом случае скип, пытаясь повернуться относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось  $y$ , создает через свои направляющие устройства боковые усилия на проводники.

При таком эксцентриситете возможны 2 варианта возникновения опорных реакций. При благоприятном варианте (точный монтаж, отсутствие искривлений, равномерный износ проводников и направляющих лап), усилия будут передаваться на проводники равномерно через все 4 направляющие устройства, т.е. в опорах  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  возникнут соответствующие опорные реакции  $R_{Ax}$ ,  $R_{Bx}$ ,  $R_{Cx}$ , и  $R_{Dx}$ , препятствующие повороту скипа (рис. 2).

Так как опоры расположены симметрично относительно оси  $x$ , то аналогично вышерассмотренному случаю с эксцентриситетом относительно оси  $y$  нагрузка будет передаваться равномерно на все четыре опоры, т.е. справедливо равенство

$$R_{Ax} = R_{Bx} = R_{Cx} = R_{Dx}.$$

При равномерном движении скипа дополнительные боковые усилия на проводники от эксцентриситета загрузки скипа вдоль оси  $x$  составят

$$P_{\text{бок}} = R_{Ax} = R_{Bx} = R_{Cx} = R_{Dx} = \frac{mg \left( \sqrt{\frac{s^2}{4} + e_x^2} - \frac{s}{2} \right)}{\sqrt{s^2 + h^2} + h - s}. \quad (7)$$

Введем геометрический коэффициент скипа  $k$ , равный отношению расстояния по вертикали между направляющими  $h$  к колею  $s$ , т.е.

$$k = \frac{h}{s},$$

тогда после алгебраических преобразований уравнение (7) примет вид

$$P_{\text{бок}} = \frac{mg \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2e_x}{s} \right)^2} - 1 \right)}{2 \left( \sqrt{1 + k^2} + k - 1 \right)}.$$

Подставляя в полученное выражение значение максимального эксцентриситета (4), получим уравнение для нахождения дополнительной максимальной боковой силы, действующей на проводники в результате смещения центра масс груза относительно оси  $x$ :

$$P_{\text{бок}} = \frac{mg \left( \sqrt{1 + \left( \frac{0,15 a_c}{s} \right)^2} - 1 \right)}{2(\sqrt{1+k^2} + k - 1)}.$$

При неблагоприятном сочетании геометрических параметров скипа и армировки (отклонения проводников от вертикали, их деформации, неравномерный износ проводников или направляющих лап), часто встречающимся на практике, усилия могут передаваться только через 2 противоположных направляющих устройства, т.е. опорные реакции, препятствующие повороту скипа, возникнут только в опорах  $A$  и  $B$  (рис. 2). Очевидно, что при таком варианте распределения усилий от эксцентриситета скипа относительно оси  $x$ , боковые силы на проводники увеличатся относительно варианта с равномерной передачей нагрузок через все 4 направляющих устройства.

Получим уравнение для нахождения дополнительной силы  $P_{\text{бок}}$  при опирании скипа на проводник только через 2 направляющих устройства.

Решив систему уравнений равновесия для этого случая, найдем опорные реакции  $R_{Ax}$  и  $R_{Bx}$ , равные по модулю значениям боковых сил на проводники:

$$R_{Ax} = R_{Bx} = P_{\text{бок}} = \frac{mg \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2e_x}{s} \right)^2} - 1 \right)}{2\sqrt{1+k^2}}. \quad (8)$$

Отсюда сила  $P_{\text{бок}}$  при максимальном эксцентриситете относительно оси  $x$  составит

$$P_{\text{бок}} = \frac{mg \left( \sqrt{1 + \left( \frac{0,15 a_c}{s} \right)^2} - 1 \right)}{2\sqrt{1+k^2}}.$$

Сравнительный анализ данных, рассчитанных по уравнениям (7) и (8), свидетельствует о том, что боковая сила во втором случае увеличивается в среднем в 2 раза практически для всех типоразмеров исследуемых скипов. Этот вариант расчета будем считать более объективным, так как он имеет определенный запас в значении боковых нагрузок, учитывающий фактическое состояние проводников и направляющих устройств, и, как следствие возможность одновременной передачи нагрузок не через все направляющие.

### **Вариант 3. Центр масс смещен в произвольном направлении до точки $E$ (рис. 2).**

Ранее нами рассмотрены крайние случаи возникновения эксцентриситетов (строго вдоль осей  $x$  и  $y$ ), при которых соответственно опорные реакции  $R_{Ax}$  ( $R_{Bx}$ ) и  $R_{Ay}$  ( $R_{By}$ ), а значит лобовая и боковая силы на проводники будут максимальными. Во всех промежуточных случаях, т.е. при отклонении центра масс скипа под некоторым углом  $\alpha$  к оси  $y$  в опорах  $A$  и  $B$  будут возникать опорные реакции  $R_A$  и  $R_B$ , которые можно разложить по осям  $x$  и  $y$  и найти соответствующие проекции  $R_{Ax}$  ( $R_{By}$ ) и  $R_{Ay}$  ( $R_{Bx}$ ), которые и определяют лобовые и боковые силы, одновременно действующие на проводники.

Угол  $\alpha$ , под которым расположены опорные реакции  $R_A$  и  $R_B$  к оси  $y$ , будет определяться соотношением эксцентриситетов вдоль осей  $x$  и  $y$  и может быть найден как

$$\alpha = \arctg \frac{e_x}{e_y}.$$

Из частных случаев возникновения опорных реакций (6) и (8), с учетом возможного отклонения от осей центра масс вытекает общее решение, согласно которому опорные реакции  $R_{Ay}$  и  $R_{Ax}$ , а значит, и лобовая и боковая сила на проводники равны

$$\begin{cases} R_{Ay} = P_{\text{лоб}} = \frac{mge_y}{h} \cos \left( \arctg \frac{e_x}{e_y} \right); \\ R_{Ax} = P_{\text{бок}} = \frac{mg \left( \sqrt{1 + \left( \frac{2e_x}{s} \right)^2} - 1 \right)}{2\sqrt{1+k^2}} \sin \left( \arctg \frac{e_x}{e_y} \right). \end{cases}$$

Исходя из максимально принятых значений эксцентриситетов (4) и (5), определим максимальные лобовые и боковые силы на проводник, действующие одновременно.

$$\begin{cases} R_{Ay} = P_{\text{лоб}} = \frac{0,075mgb_c}{h} \cos \left( \arctg \frac{a_c}{b_c} \right); \\ R_{Ax} = P_{\text{бок}} = \frac{mg \left( \sqrt{1 + \left( \frac{0,15 a_c}{s} \right)^2} - 1 \right)}{2\sqrt{1+k^2}} \sin \left( \arctg \frac{a_c}{b_c} \right). \end{cases}$$

Найденные усилия на проводник будут соответствовать крайним положениям центра масс на ограниченной площади его возможного расположения, т.е. угловым точкам заштрихованной области на рис. 1.

В результате исследований установлено, что образующийся от неравномерности загрузки скипа эксцентриситет центра масс в горизонтальной плоскости существенно влияет на направление и величину дополнительного усилия на проводник. Так при смещении центра масс груженого подъемного сосуда вдоль оси  $y$ , соединяющей двусторонние проводники, увеличивается лобовая нагрузка на них, а при смещении в перпендикулярном направлении – увеличивается боковая нагрузка. С увеличением эксцентриситета лобовая нагрузка возрастает линейно, а боковая – нелинейно.

При увеличении массы подъемных сосудов дополнительная нагрузка на армировку вследствие эксцентриситета в горизонтальной плоскости значительно возрастает и для груженых сипов массой 100 т может достигать: в лобовом направлении до 15 кН, в боковом – до 1,7 кН, и пренебрегать ею при расчетах будет недопустимо.

### Библиографический список

1. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт / ВНИИГМ им. М.М. Федорова. – Донецк, 1985. – 170 с.

Надійшла до редакції 12.05.2013

А.Ю. Прокопов<sup>1</sup>, С.В. Борщевський<sup>2</sup>, В.Ф. Формос<sup>2</sup>, А.О. Міхєєва<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ростовський державний будівельний університет, м. Ростов-на-Дону, Росія,

<sup>2</sup>ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, Україна

Щодо питання визначення додаткових навантажень на жорстке армування стволу від ексцентриситетів завантаження скіпів

Досліджено вплив нерівномірності завантаження скіпів на формування додаткових зусиль на провідники. Розраховані можливі значення додаткових лобових і бічних зусиль на армування залежно від маси скіпу, величини і напрямку ексцентриситету його центра мас. Запропоновано враховувати додаткові сили від ексцентриситету підйомної посудини при розрахунку експлуатаційних навантажень на армування стволів з високою інтенсивністю підйому.

Ключові слова: армування, ствол, навантаження, підйомна посудина.

A.Yu. Prokopov<sup>1</sup>, S.V. Borshchevskiy<sup>2</sup>, V.F. Formos<sup>2</sup>, A.A. Mikheeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rostov State Construction University, Rostov-on-Don, Russia,

<sup>2</sup> Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

### Determination of additional loads on hard reinforcement from scip download eccentricity

We study the influence of skips load imbalance on the formation of additional efforts on conductors. We calculated possible values of additional frontal and lateral forces on the reinforcement depending on the weight of a skip, the value and direction of the eccentricity of its center of mass. We propose to take into account additional forces from the eccentricity of the lifting vessel when calculating working load on the trunk reinforcement with high lifting intensity.

Keywords: reinforcement, shaft, load, lift vessel.