УДК 622.258.3

Д.А.КОТИКОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

ОБОСНОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНСОЛЬНО-КАНАТНОЙ АРМИРОВКИ ГЛУБОКИХ СТВОЛОВ

Рассмотрен вопрос совместной работы канатной и консольной армировок стволов. Предложено устройство, обеспечивающее их совместную работу. Приведены расчетные зависимости для определения напряжений в элементах устройства и графические зависимости для выбора размеров узлов.

A possibility of combined operation of the rope and console shaft armouring is studied. A device is offered to secure their combined operation. Calculation dependences are given to assess stress in the device elements as well as graphical dependences to select sizes of these elements.

При эксплуатации стволов применяют две принципиально различные схемы армирования: жесткую и гибкую. Жесткая схема армирования (расстрельная, блочная, консольная или смешанная) имеет ряд неоспоримых достоинств, таких как надежность, малые отклонения подъемных сосудов при движении по стволу. В настоящее время при строительстве вертикальных стволов находят широкое применение безрасстрельные (консольные, консольно-распорные, блочные и др.) виды конструкций армировок [4, 5]. Конструкция армировки с консолями обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными расстрельными армировками: уменьшается расход металла и трудоемкость работ, снижается аэродинамическое сопротивление ствола и создается возможность для спуска крупногабаритных грузов, упрощается ведение армирования в процессе проходки ствола [4]. Вместе с тем жесткая консольная армировка не исключает возможности концентрации знакопеременных напряжений в местах заделки консолей в крепь ствола и на контактах с подъемным сосудом. Для устранения этого недостатка широкое применение находит канатная армировка стволов.

Особенностью канатной армировки является использование канатов в качестве направляющих для движения подъемных сосудов. Этим достигается герметичность крепи, повышается ее долговечность и устраняется поступление воды через лунки в местах заделки жесткой армировки в крепь ствола, что имеет важное значение для стволов с притоком агрессивных вод. Недостатки канатной армировки: увеличенный диаметр ствола, потребность в канатах закрытой конструкции высокого качества и большой длины, несовершенство фиксирующих устройств при остановке сосудов на промежуточных горизонтах, сверхнормативный износ канатов, необходимость в проходке зумпфа большого размера для размещения натяжных устройств.

Учитывая достоинства и недостатки жестких консольных и канатных армировок, можно поставить вопрос о совместной работе этих систем. При этом необходимо решить следующие вопросы: сконструировать устройство захвата канатного направляющего (рис.1); рассчитать отклонение при движении подъемного сосуда по трассе ствола; обосновать совместную работу консольно-канатных армировок при динамических напряжениях, возникающих в процессе эксплуатации.

При движении подъемного сосуда по стволу в месте крепления проводника к стенке ствола возникают силы, указанные на рис.2, *а*. Напряжения, возникающие в консоли, определяются из выражения [2]

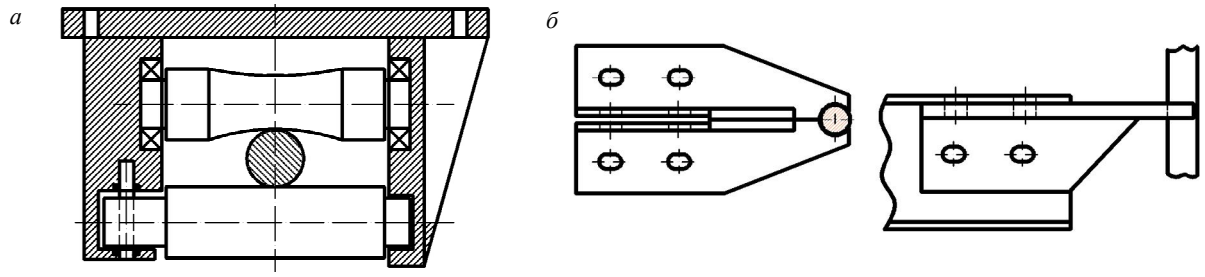


Рис.1. Схема узла совместной работы канатно-консольной армировки: *а* – конструкция контактного узла подъемного сосуда с канатным направляющим; *б* – конструкция консоли с узлом крепления направляющего каната

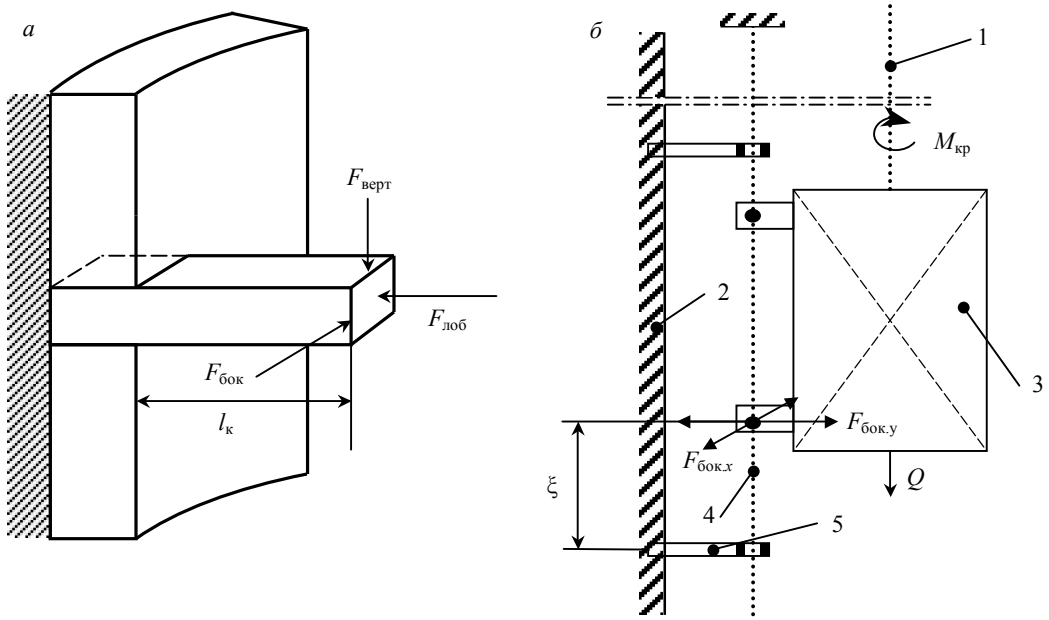


Рис.2. Схема сил, действующих на консольную часть крепления

1 – головной канат; 2 – крепь ствола; 3 – подъемный сосуд; 4 – направляющий канат; 5 – консоль

$$\left|\sigma_{max}\right| = \left| \frac{F_{\text{ëîá}}}{F} + \frac{F_{\text{âåðò}} l_{\text{ê}}}{W_1} + \frac{F_{\text{áîê}}\, l_{\text{ê}}}{W_2} + \sigma_{\text{ãîðí}} \right|, \quad (1)$$

где $F_{лоб}$ – сила действующая перпендикулярно торцу консоли, Н; F – площадь поперечного сечения консоли, м^2; $F_{верт}$ – сила действующая на консоль по направлению движения подъемного сосуда, Н; $W_{1,2}$ – момент сопротивления сечения консоли относительно осей, м^3; $\sigma_{горн}$ – давление со стороны горного массива, Па; $l_к$ – длина консоли, м; $F_{бок}$ – сила, действующая на консоль в горизонтальной плоскости, Н.

Учитывая причины образования сил можно принять $F_{лоб} = F_{бок}$. Найдем значения сил, действующих на консоль. Боковая и лобовая составляющая сил $F_{áîê} = F_{ëîá} = \mathrm{F}_{\grave{l}\ êð}$, где $F_{\grave{l}\ êð} = \grave{I}\ _{êð}/(sn)$ – сила от крутящего момента, Н [5]; n – число канатных проводников; s – расстояние от проводника до центра вращения подъемного сосуда, м.

Крутящий момент [5]

$$\grave{I}\ _{êð} = k\hat{e}_{\ddot{a}}\, dQ,$$

где k – коэффициент упругости связи, значение которого зависит от конструкции каната, в общем случае $k \approx 0{,}1$ [2, 3]; $к_д$ – коэффициент динамики; d – диаметр каната, м; Q – осевое усилие (концевая нагрузка) на канат, Н.

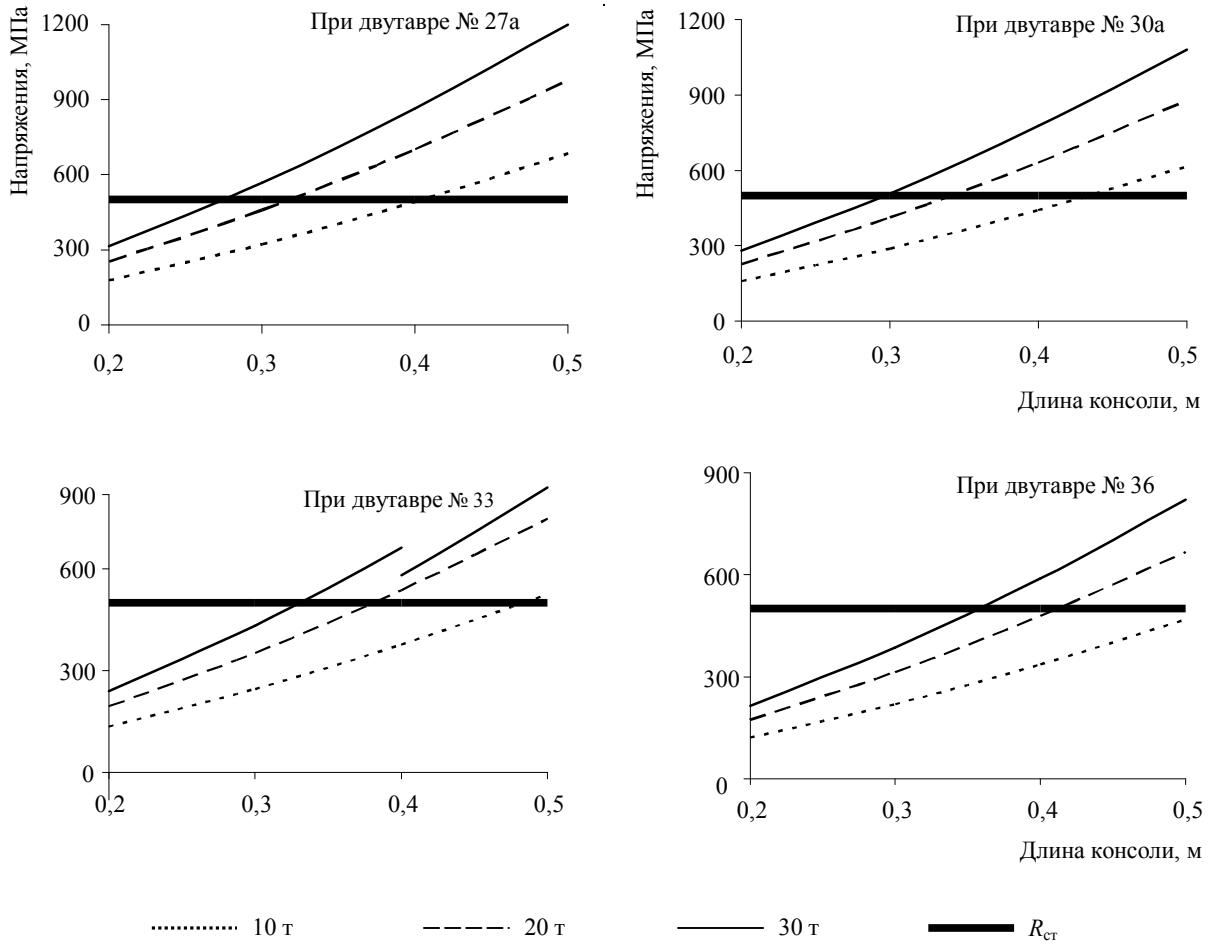


Рис.3. Графики напряжений в консоли в зависимости от профиля двутавра, массы подъемного сосуда и длины консоли

Таким образом, в общем случае боковая сила $F_{\dot{i}\ \hat{e}\eth} = 0{,}1\hat{e}_{\ddot{a}} dQ/(sn)$. Вертикальная составляющая сил

$$F_{\text{верт}} = 0{,}1к_{д}Q. \qquad (2)$$

Коэффициент динамики $\hat{e}_{\ddot{a}} = 1+\sqrt{1+2\acute{I}/\delta_{\tilde{n}}}$, где H – условная высота падения подъемного сосуда, м; δ_c – статическая деформация консоли, м.

Если $\acute{I} = V^2/(2g)$, то $\hat{e}_{\ddot{a}} = 1+\sqrt{1+V^2/(g\delta_{\tilde{n}})}$, где V – скорость подъемного сосуда, м/с; g – ускорение свободного падения, м^2/с.

Статическая деформация [1]

$$\delta_c = \frac{Ql_{\hat{e}}^{\ 3}}{3EI_x}, \qquad (3)$$

где $l_к$ – длина консоли, м; E – модуль Юнга материала консоли, Па; I_x – момент инерции относительно оси x.

Подставляя (2) в (3), с учетом (1) имеем

$$|\sigma_{\max}| = \left|\left(1+\sqrt{1+\frac{V^2 3EI}{Ql_{\hat{e}}^{\ 3}}}\right)\times\right.$$

$$\left.\times\left(\frac{0{,}1dQ}{l_{\hat{e}}snF}+\frac{0{,}1Ql_{\hat{e}}}{W_1}+\frac{0{,}1dQl_{\hat{e}}}{snW_2}\right)+\sigma_{\tilde{a}\hat{i}\eth\acute{i}}\right|. \qquad (4)$$

Формула (4) позволяет определить характеристики консоли исходя из заданных условий.

При ударе роликовых захватов о закрепление каната взаимодействие будет происходить по контакту ролик-ролик крест накрест. Таким образом, максимальные местные напряжения [1]

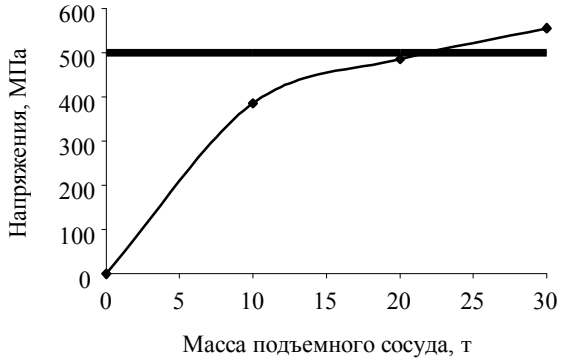


Рис.4. График напряжений на роликах устройства в зависимости от массы подъемного сосуда (толстой линией показан предел прочности материала на местное сжатие)

$$\sigma_{max} = \alpha\sqrt[3]{\frac{\hat{e}_{\ddot{a}} F_{\ddot{e}\hat{i}\acute{a}} E^2}{R_2^{\ 2}}} = \alpha\sqrt[3]{\frac{\hat{e}_{\ddot{a}} kdQE^2}{snR_2^{\ 2}}}, \qquad (5)$$

где α – коэффициент, зависящий от отношения A/B; R – радиус ролика, м; $\grave{A} = 1/D_1$; $B = 1/D_2$; $D_{1,2}$ – диаметры каната и ролика соответственно, м [1]; при равных диаметрах каната и ролика $\alpha = 0{,}388$.

Имея в виду, что для роликов опорного устройства и консоли будет применен один и тот же материал, а также исходя из предпосылки рационального проектирования узлов, имеем тождественное равенство (4) и (5), которое характеризует работу системы.

Для расчетов примем: горное давление $\sigma_{горн} = 250$ кПа; массу подъемного сосуда 10, 20 и 30 т; крепление роликами в четырех точках на расстоянии 2 м от оси подъемного сосуда, длину консоли 0,2-0,5 м; диаметр каната и ролика 45 мм, материал консоли – двутавр № 27а, 30а, 33, 36.

Графики на рис.3 и 4 показывают, что при малой и средней интенсивности подъема система работает в допредельном состоянии и не разрушается. Однако, при увеличении нагрузок на армировку (консоли) напряжения будут превышать пределы прочности конструкции в заданных условиях.

По результатам выполненных исследований можно заключить что, зная динамические напряжения в системе «подъемный сосуд – армировка – крепь», представляется возможно проектировать оптимальные параметры системы для конкретных условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев Н.М.* Сопротивление материалов. М.: Государственное изд-во физ.-мат. литературы. М., 1962.

2. Нормы безопасности при проектировании и эксплуатации канатных проводников многоканатных подъемных установок / МакНИИ. Макеевка – Донбасс, 1984.

3. Нормы безопасности при проектировании и эксплуатации канатных проводников одноканатных подъемных установок / МакНИИ. Макеевка – Донбасс, 1984.

4. *Прокопов А.Ю.* Новые решения в проектировании жесткой армировки вертикальных стволов / А.Ю.Прокопов, С.Г.Страданченко, М.С.Плашко. Ростов н/Д, 2004.

5. *Сыркин П.С.* Технология армирования вертикальных стволов / П.С.Сыркин, Ф.И.Ягодкин, И.А.Мартыненко. М.: Недра, 1996.

Научный руководитель проф. *И.Е.Долгий*