

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПОДЪЕМНЫЙ СОСУД В ШАХТНОМ ВЕРТИКАЛЬНОМ СТВОЛЕ

Шилинговский Н.И., канд. техн. наук, доц., Гураль В.Г., доц.,
Донецкий национальный технический университет

Исследованы особенности взаимодействия движущегося подъемного сосуда с воздушными потоками в шахтном вертикальном стволе с гибкой армировкой. Определены аэродинамические силы, действующие на подъемный сосуд.

Characteristic properties of moving hoisting cage interaction with air streams, in mine shaft equipped with flexible guides, are studied. Aerodynamic forces exerted on a hoisting cage are found.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Накопленный опыт эксплуатации гибких армировок шахтных вертикальных стволов позволяет отнести данный вид армировки к перспективному. Следовательно, исследования, результаты которых обеспечивают устойчивость движения подъемного сосуда и увеличивают срок службы канатных проводников и направляющих устройств, являются актуальными.

Анализ исследований и публикаций. При выполнении работы были приняты во внимание исследования канатной армировки и движущегося в ней подъемного сосуда, выполненные В.Д.Белым, Г.Н.Савиным, О.А.Горошко, А.И.Самородовым, П.П.Глущенко [1-3], работы по шахтному подъему, выполненные Н.Г.Гаркушей, В.И.Дворниковым [4], а также теоретические и экспериментальные работы по изучению характеристик взаимодействия движущегося подъемного сосуда с воздушными потоками в вертикальном стволе. Однако, вопросы по определению аэродинамических сил и горизонтальных перемещений подъемного сосуда, вызванных этими силами в зонах вентиляционных каналов, не изучены.

Постановка задачи. Целью данной работы является исследование аэродинамических сил, действующих на подъемный сосуд, движущийся в канатных проводниках гибкой армировки вертикального шахтного ствола и определение горизонтальных перемещений сосуда под действием этих сил.

Изложение материала и результаты. Боковая сила, с которой воздушный поток действует на подъемный сосуд, как известно, может быть определена по формуле:

$$R^* = \frac{1}{2} c_p S V_\infty^2 \sin \psi, \quad (1)$$

где c – коэффициент формы, который изменяется в пределах $1,15 \leq c \leq 1,5$; ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; S – площадь Миделевого сечения подъемного сосуда, м^2 ; V_∞ – скорость струи воздушного потока, м/с ; ψ – угол атаки.

Площадь обдува S_0 подъемного сосуда воздушным потоком при прохождении зоны вентиляционного канала является переменной величиной, зависящей от времени.

Кроме того, существенное влияние на площадь обдува оказывают геометрические параметры подъемного сосуда, вентиляционного канала и скорость движения сосуда.

Если сосуд движется с постоянной скоростью, то площадь обдува для различных промежутков времени определяется по формуле:

$$S_0 = \begin{cases} aV_c t & \text{при } 0 \leq t \leq \frac{H}{V_c}, \\ aH_c & \text{при } \frac{H}{V_c} \leq t \leq \frac{H_c}{V_c}, \\ aV_c & \text{при } \frac{H_c}{V_c} \leq t \leq \frac{H + H_c}{V_c}, \end{cases} \quad (2)$$

где a – ширина шахтного подъемного сосуда, м ; H – высота вентиляционного канала, м ; H_c – высота подъемного сосуда, м ; t – время, с ; V_c – скорость сосуда, м/с .

Так как площадь обдува изменяется с течением времени, то скорость струи воздушного потока при обдуве сосуда и угол атаки также зависят от времени. Если считать воздух несжимаемым и пренебречь боковым рассеиванием, то, исходя из равенства расхода воздуха за конечный промежуток времени в вентиляционном канале и зоне обдува подъемного сосуда, получаем

$$V_B = \frac{V_\infty}{1 - \frac{S_0}{S_B}}, \quad (3)$$

где V_B – скорость воздушной струи в зоне обдува, м/с ; S_B – площадь поперечного сечения вентиляционного канала, м^2 .

На основании теоретических и экспериментальных исследований явления обдува воздушным потоком подъемного сосуда установлен закон изменения угла атаки для случая, когда воздушный поток направлен из вентиляционного канала в шахтный вертикальный ствол:

$$\psi(t) = \psi_0 - \alpha_0 \sin(\omega t + \beta_0), \quad (4)$$

где постоянные величины ψ_0 , α_0 , β_0 зависят от параметров подъемной установки, вентиляционного канала и определяются экспериментально.

Коэффициент ω находится исходя из того, что полный цикл изменения угла атаки происходит за время прохождения шахтным сосудом зоны вентиляционного канала

$$\omega = \frac{2\pi V_c}{H + H_c}. \quad (5)$$

При движении воздушного потока из вертикального ствола в вентиляционный канал закон изменения угла атаки записывается в виде:

$$\psi_1(t) = \psi_{10} + \frac{\pi}{3} \sin(\omega_1 t + \beta_{10}), \quad (6)$$

где ψ_{10} , β_{10} – постоянные величины, которые определяются экспериментально для каждой подъемной установки, а коэффициент ω_1 вычисляется по формуле:

$$\omega_1 = \frac{\pi V_c}{2H_c}. \quad (7)$$

С учетом формул (1) – (7) закон изменения боковой силы давления воздушного потока на подъемный сосуд при прохождении зоны вентиляционного канала записывается в виде:

$$R = \frac{1}{2} c_{pa} \cdot V_c V_\infty^2 \eta(t) \sin \psi(t), \quad (8)$$

где

$$\eta(t) = \begin{cases} \frac{t}{\left(1 - \frac{aV_c t}{S_B}\right)^2} & \text{при } 0 \leq t \leq \frac{H}{V_c}, \\ \frac{H}{V_c} & \text{при } \frac{H}{V_c} \leq t \leq \frac{H_c}{V_c}, \\ \frac{\frac{H + H_c}{V_c} - t}{\left(1 - \frac{aV_c}{S_B} \left(\frac{H + H_c}{V_c} - t\right)\right)^2} & \text{при } \frac{H_c}{V_c} \leq t \leq \frac{H + H_c}{V_c}, \end{cases} \quad (9)$$

На рис. 1 приведены графики изменения во времени параметров S_0 , ψ , ψ_1 , η , а на рис.2 – графики изменения во времени силы давления R при движении воздушного потока из вентиляционного канала в вертикальный ствол и силы давления R_1 при движении воздушного потока из вертикального ствола в вентиляционный канал.

При построении графиков, приведенных на рис. 1 и 2, были приняты следующие значения геометрических и кинематических параметров вентиляционного канала, воздушного потока и подвижного сосуда:

$$\begin{aligned} c &= 1,15, \rho = 1,2 \text{ кг/м}^3, a = 2 \text{ м}, H = 2 \text{ м}, H_c = 4 \text{ м}, \\ V_\infty &= 4 \text{ м/с}, V_c = 8 \text{ м/с}, S_c = 8 \text{ м}^2, \psi_0 = 85^\circ, \alpha_0 = \pi/3, \\ \beta_0 &= 45^\circ, \psi_{10} = 30^\circ, \beta_{10} = 0 \end{aligned}$$

Из рис. 2 следует, что величины аэродинамических сил, действующих на подъемный сосуд, не зависят от направления воздушного потока в вентиляционном канале.

Выводы и направления дальнейших исследований. Таким образом, анализ полученных результатов показал, что аэродинамические силы, действующие на подъемный сосуд в зоне вентиляционного канала, соизмеримы с силами сопротивления проводниковых каналов в точках контакта с направляющими устройствами.

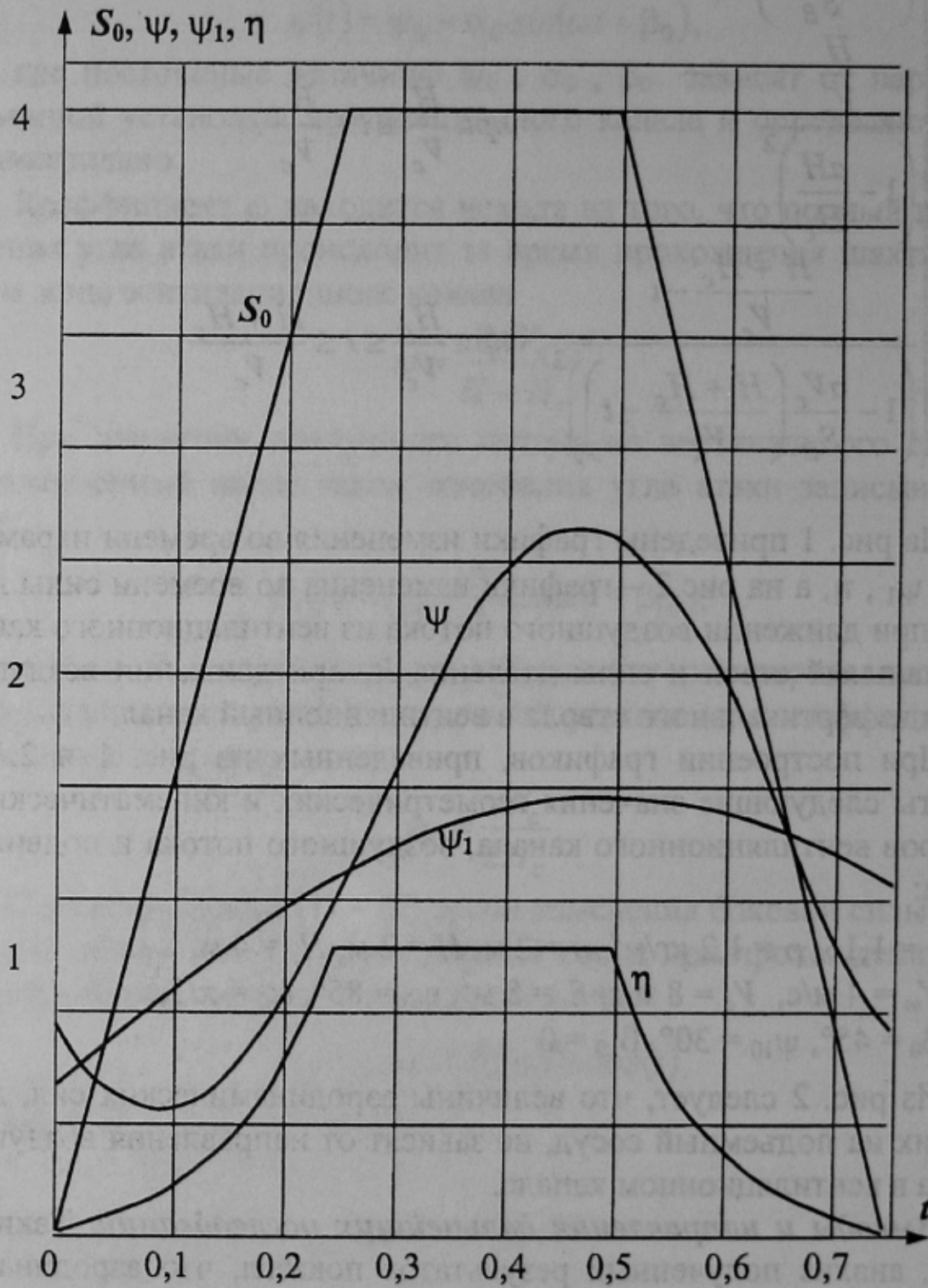


Рис. 1. Графики изменения параметров, определяющих аэродинамическую силу

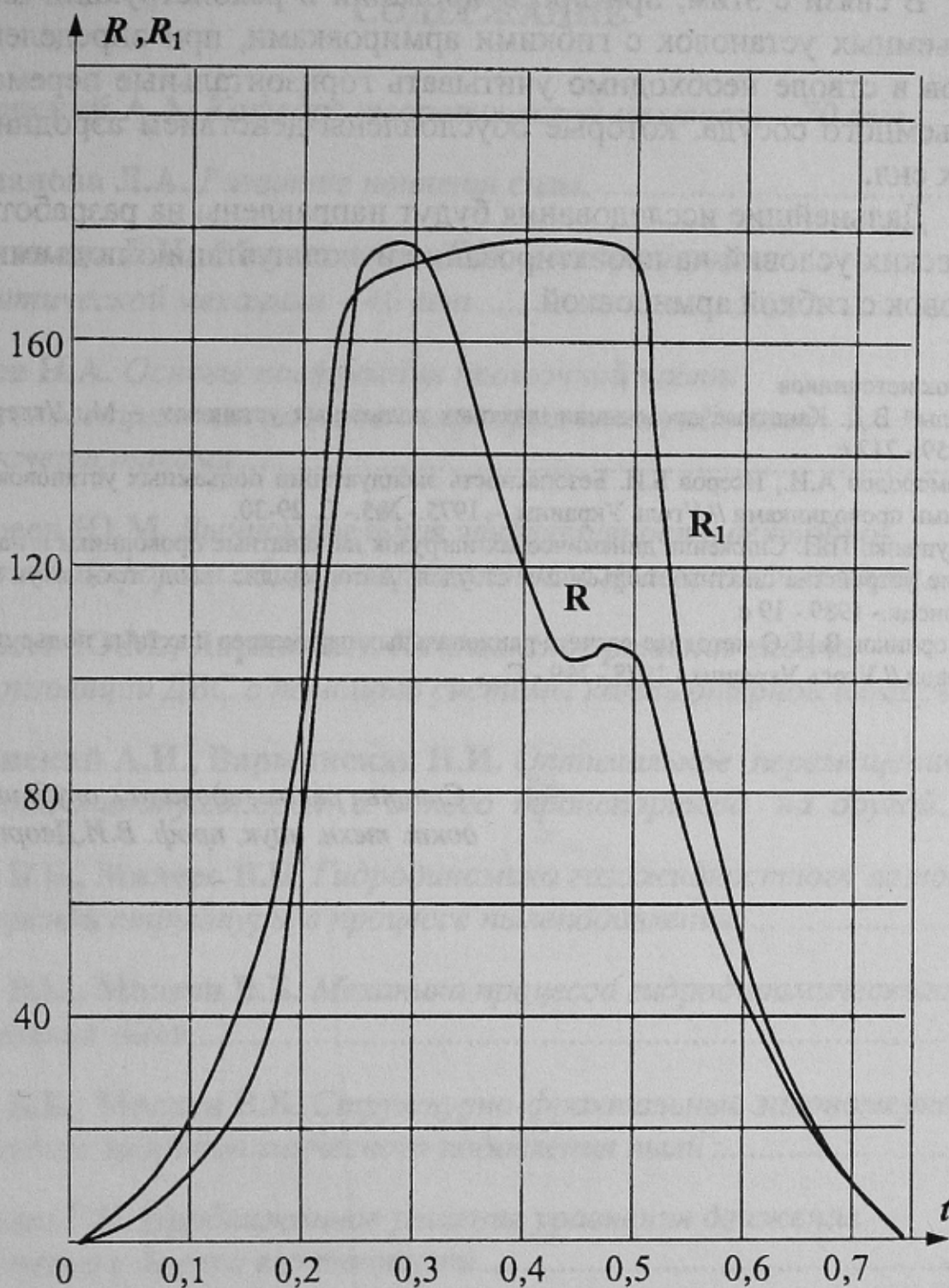


Рис. 2. Графики изменения аэродинамической силы в зависимости от времени

В связи с этим, при проектировании и реконструкции шахтных подъемных установок с гибкими армировками, при определении зазоров в стволе необходимо учитывать горизонтальные перемещения подъемного сосуда, которые обусловлены действием аэродинамических сил.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку технических условий на проектирование и эксплуатацию подъемных установок с гибкой армировкой.

Список источников.

1. Белый В.Д. Канатные проводники шахтных подъемных установок. – М.: Углетехиздат.- 1959.- 212 с.
2. Самородов А.И., Исеров Б.И. Безопасность эксплуатации подъемных установок с канатными проводниками // Уголь Украины. – 1975.- №5.- С. 29-30.
3. Глушенко П.П. Снижение динамических нагрузок на канатные проводники и направляющие устройства шахтных подъемных сосудов. Автореф. дис. канд. техн. наук 05.05.06.- Донецк.- 1989.- 19 с.
4. Дворников В.И. О методике расчета рациональных параметров шахтных подъемных установок // Уголь Украины.- 1978.- №9.- С.

*Статья рекомендована к опубликованию
докт. техн. наук, проф. В.И.Дворниковым*