

УДК 621.567.59

Плотность рабочего вещества в разных полостях винтового компрессора при всасывании

Д-р техн. наук В. И. ПЕКАРЕВ

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО
Институт холода и биотехнологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

A method is developed for calculating the density of the working substance in the process of absorption in the screw compressor. The process of absorption represented as a movement for a uniformly moving pistons. However, the rate of movement of the working substance is variable as a result of the leak.

Keywords: screw compressor, working substance, the process of absorption.

Ключевые слова: винтовой компрессор, рабочее вещество, процесс всасывания.

Для расчета процесса всасывания необходимо знать плотность рабочего вещества по длине впадин роторов компрессора. Представим заполнение рабочим веществом впадины ротора в процессе всасывания как движение за поршнем, который движется равномерно, однако скорость движения рабочего вещества будет переменна, так как навстречу потоку поступают утечки (рис. 1).

Установившееся движение потока пара без подвода энергии описывается уравнением Бернулли

$$\frac{1}{\rho} dp + w dw + \frac{\lambda_c w^2}{2D_s} dx = 0, \quad (1)$$

где $p = p(x)$, $\rho = \rho(x)$, $w = w(x)$ — функции давления, плотности и скорости;

λ_c — коэффициент сопротивления трения при движении потока по каналам винтов;

D_s — гидравлический диаметр впадины ведомого (ВМ) винта.

Считая газ реальным, добавляем к уравнению (1) уравнение состояния реального газа в виде $p = ZRT\rho$ и решаем систему уравнений:

$$\begin{cases} p = A\rho; \\ \frac{1}{\rho} dp + w dw + \frac{\lambda_c w^2}{2D_s} dx = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $A = zRT$.

Линеаризируя задачу, принимаем

$$\frac{\lambda_c}{2D_s} w_{cp} = a = \text{const.}$$

Принимаем линейное распределение скорости по длине канала (см. рис. 1), где w_0 — скорость на входе во впадину ведущего (ВЦ) винта

$$w_0 = \frac{W_0 n_1 \lambda}{f_{in}}, \quad (3)$$

здесь

W_0 — объем парной полости;
 n_1 — частота вращения ведущего ротора;
 λ — коэффициент подачи компрессора;
 f_{in} — площадь впадины ведущего ротора.

Скорость рабочего вещества, находящегося непосредственно у поршня, будет равна

$$w_1 = w_{oc} - w_y(t), \quad (4)$$

где w_{oc} — средняя осевая скорость винтов;
 $w_y(t)$ — скорость утечек пара.

Считаем, что утечки линейно возрастают в процессе всасывания, т. е. $w_y(t) = bt$, где $b = \text{const.}$

Поступающий в полость ВМ винта объем утечек пара $V_y(t) = w_y(t)f_{in}$. Тогда суммарный объем утечек пара, поступающих в полость ВМ винта за весь период всасывания, определится таким образом:

$$V_{\square} = \int_0^{\tau} V_y(t) dt, \quad (5)$$

где τ — продолжительность процесса всасывания,

$$\tau = \frac{2\pi n_1}{\tau_{13} + f_{in}},$$

здесь

τ_{13} — угол закрутки;

φ_{in} — угол поворота винта от начала сжатия до полного замыкания линии контакта.

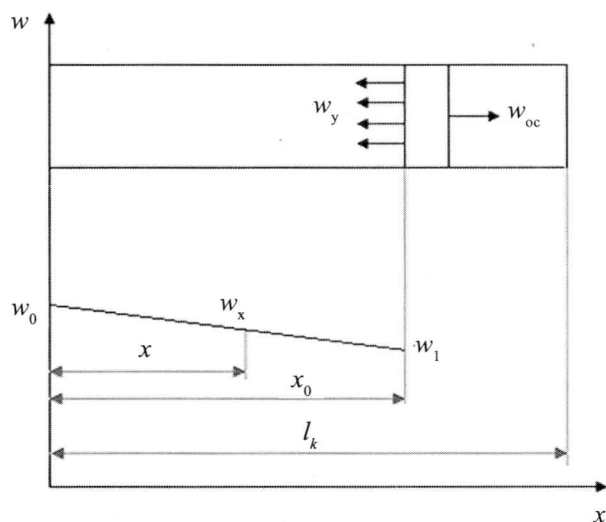


Рис. 1. Изменение скорости рабочего вещества во впадинах винтов винтового компрессора в процессе всасывания

С другой стороны,

$$V_y = V_{y,\text{min}} \frac{f_{2n}}{f_{1n} + f_{2n}}, \quad (6)$$

где $V_{y,\text{min}}$ — объем утечек пара, поступающих в парную полость в течение всего процесса всасывания, определяется в результате расчета массообмена в винтовом компрессоре сухого сжатия (ВКС)

$$V_{y,\text{min}} = G_y v_y,$$

$$\begin{aligned} V_y &= V_{y,\text{min}} \frac{f_{2n}}{f_{1n} + f_{2n}} = \int_0^{\bar{\tau}} V_y(t) dt = \\ &= \int_0^{\bar{\tau}} w_y(t) f_{2n} dt = \int_0^{\bar{\tau}} b t f_{2n} dt = \frac{b t f_{2n} \bar{\tau}^2}{2}, \end{aligned} \quad (7)$$

откуда

$$b = \frac{2V_{y,\text{min}} f_{2n}}{f_{2n}(f_{1n} + f_{2n}) \bar{\tau}^2} = \frac{2G_y v_y}{(f_{1n} + f_{2n}) \tau}. \quad (8)$$

Подставляя в уравнение (8) время протекания процесса, получим

$$b = \frac{2G_y v_y (\tau_{13} + f_{1n})}{(f_{1n} + f_{2n}) 2\pi n_1}. \quad (9)$$

При $x_s = l_k$

$$\begin{aligned} w_x &= w_0 - \frac{(w_0 - w_1)x}{x_s} = \\ &= w_0 - \frac{w_0 - w_{0c} + b\tau}{l_k} x = w_0 - kx, \end{aligned} \quad (10)$$

где $k = \frac{(w_0 - w_{0c} + b\tau)}{l_k}$.

Тогда $dw = -kdx$.

Подставив уравнение состояния (10) во второе уравнение системы (2), имеем

$$\left. \begin{aligned} A \frac{dp}{\rho} + wdw + awdx &= 0; \\ A \frac{dp}{\rho} + (w_0 - kx)(-kdx) + a(w_0 - kx)dx &= 0; \\ A \frac{dp}{\rho} &= (w_0 - kx)(k - a)dx. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Интегрируя уравнения (12), получим

$$\begin{aligned} \ln c + A \ln \rho &= \int (w_0 - kx)(k - a)dx = \\ &= \left(\frac{a - k}{k} \right) \left(\frac{(w_0 - kx)^2}{2} \right); \\ c \rho^A &= \exp \left[\frac{a - k}{2k} (w_0 - kx)^2 \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

Из граничных условий определим постоянную интегрирования:

$$\begin{aligned} x = 0, \rho &= \rho_{\text{BC}}; \\ c \rho_{\text{BC}}^A &= \exp \left[\frac{(a - k)}{2k} w_0^2 \right]; \\ c &= \rho_{\text{BC}}^{-A} e^{\left(\frac{a - k}{2k} w_0^2 \right)}. \end{aligned} \quad (13)$$

После подстановки c в уравнение (12) и некоторых преобразований получим значение плотности рабочего вещества в сечении x :

$$\rho_x = \rho_{\text{BC}} e^{\frac{x(k-a)(w_0 - kx/2)}{A}}. \quad (14)$$

Таким образом, используя уравнение (14), можно определить плотность рабочего вещества в любом сечении впадин роторов в процессе всасывания.