

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОСТИЖИМЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНЖЕКЦИИ И СТЕПЕНИ СЖАТИЯ СТРУЙНОГО ПАРОВОГО КОМПРЕССОРА

Т.А. Барбасова, П.Н. Дивнич

Пароструйные компрессоры отличаются большой степенью расширения и умеренной степенью сжатия. Степень расширения рабочего потока после рабочего сопла в компрессорах велика. Отношение давлений рабочего и инжектируемого потоков перед компрессором во много раз больше критического отношения давлений. Степень сжатия, развиваемая такими аппаратами, обычно находится в пределах  $2,5 \leq P_c/P_n \leq 1,2$ . К пароструйным компрессорам относятся аппараты для повышения давления отработавшего пара в сети.

## 1. Определение достижимой степени сжатия струйного компрессора

Расчет давления сжатия  $P_c$  производится по уравнению [1]:

$$\frac{P_c}{P_n} = \frac{K_1 \lambda_{p,n} + \varphi_3 \frac{\Pi_{p,n}}{\Pi^* k q_{p,n}}}{\varphi_3 \Pi_{c3} \left[ \frac{\Pi_{p,n}}{\Pi^* k q_{p,n}} + u \sqrt{\Theta} \frac{1}{\Pi^* k q_{n2}} \right]} + \frac{u \sqrt{\Theta} \left[ K_2 \lambda_{n2} + \varphi_3 \frac{\Pi_{n2}}{\Pi^* k q_{n2}} \right]}{\varphi_3 \Pi_{c3} \left[ \frac{\Pi_{p,n}}{\Pi^* k q_{p,n}} + u \sqrt{\Theta} \frac{1}{\Pi^* q_{n2}} \right]} - \frac{(1 - u \sqrt{\Theta}) \lambda_{c3}}{\varphi_3 \Pi_{c3} \left[ \frac{\Pi_{p,n}}{\Pi^* k q_{p,n}} + u \sqrt{\Theta} \frac{1}{\Pi^* k q_{n2}} \right]}, \quad (1)$$

где  $u$  – коэффициент инжекции:

$$u = G_n / G_p; \quad (2)$$

$G_p$  – расход рабочего пара, кг/с;  $G_n$  – расход инжектируемого пара, кг/с;  $P_c$  – давление сжатого потока на выходе компрессора, Па;  $P_n$  – давление инжектируемого пара, Па;  $\Pi_{p,n}$  – относительное давление рабочего потока во входном сечении камеры смешения;

$$\Pi_{p,n} = P_n / P_p; \quad (3)$$

$\lambda_{p,n}$  – относительная скорость рабочего потока во входном сечении камеры смешения;  $q_{p,n}$  – приведенная массовая скорость рабочего потока во входном сечении камеры смешения;  $\Pi_{n2}$  – относительное давление инжектируемого потока во входном сечении камеры смешения;  $\lambda_{n2}$  – относительная скорость инжектируемого потока во входном сечении камеры смешения;  $q_{n2}$  – приведенная массовая скорость инжектируемого потока во

входном сечении камеры смешения;  $K_1$  – коэффициент скорости рабочего потока;  $K_2$  – коэффициент скорости инжектируемого потока:

$$K_1 = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3; \quad (4)$$

$$K_2 = \varphi_4 \varphi_2 \varphi_3. \quad (5)$$

На основе экспериментальных исследований [1] рекомендовано принимать

$$\varphi_1 = 0,95; \quad \varphi_2 = 0,975; \quad \varphi_3 = 0,9; \quad \varphi_4 = 0,925.$$

При одинаковых показателях адиабаты и одинаковых газовых постоянных рабочего и инжектируемого потоков

$$k_p = k_n;$$

$$R_p = R_n;$$

$$\Theta = T_n / T_p = a_{n*}^2 / a_{p*}^2,$$

где  $a_{n*}$  – критическая скорость инжектируемого потока, м/с;  $a_{p*}$  – критическая скорость рабочего потока, м/с:

$$a_{n*} = \sqrt{2 k_n P_n v_n / (k_n + 1)}; \quad (6)$$

$$a_{p*} = \sqrt{2 k_p P_p v_p / (k_p + 1)}, \quad (7)$$

где  $v_n$  – удельный объем инжектируемого пара, м<sup>3</sup>/кг;  $v_p$  – удельный объем рабочего пара, м<sup>3</sup>/кг;  $\Pi^*$  – относительное давление при характеристическом значении относительной скорости  $\lambda = 1$ .

Относительное давление зависит от показателя адиабаты инжектируемого и сжатого потоков.

Энтальпия пара на выходе компрессора находится исходя из коэффициента инжекции и энтальпии рабочего и инжектируемого пара:

$$h_c = (h_p + u h_n) / (1 + u), \quad (8)$$

где  $h_p$  – энтальпия рабочего пара, Дж/кг;  $h_n$  – энтальпия инжектируемого пара, Дж/кг.

## 2. Достижимые параметры работы струйного компрессора

Достижимые параметры струйного компрессора зависят от газодинамических параметров потоков во входном и выходном сечении камеры смешения, поэтому при расчете целесообразно задаваться рядом значений  $\lambda_{c3}$  в выходном сечении камеры смешения и для каждого значения определять достижимые параметры. На основе проведенных расчетов выбирают оптимальные достижимые параметры работы аппарата.

При использовании цилиндрической камеры смешения значения  $\lambda_{c3}$ ,  $\lambda_{n2}$  должны находиться в области  $\lambda_{c3} \leq 1$ ,  $\lambda_{n2} \leq 1$ , так как скорость сме-

шанного потока в выходном и входном сечении цилиндрической камеры смешения не может быть больше критической  $\omega_3 \leq a_{c*}$ ,  $\omega_{н2} \leq a_{н*}$ .

Предельные значения коэффициентов инжекции пароструйного компрессора находятся по формуле:

$$u_{пр} \sqrt{\Theta} = \left( \frac{P_n}{P_c q_{c3}} - \frac{P_n}{P_p q_{ps}} \right) / \left( 1 - \frac{P_n}{P_c q_{c3}} \right), \quad (9)$$

где  $u_{пр}$  – предельно возможный коэффициент инжекции аппарата;  $q_{ps}$  – приведенная массовая скорость инжектируемого потока.

Определение рабочего режима работы аппарата определяется из условий определения возможных входных параметров рабочего и инжектируемого пара. Необходимым условием установки компрессора на промплощадке является определение максимального коэффициента инжекции аппарата при максимально возможном повышении давления инжектируемого пара на выходе пароструйного компрессора.

Расчет параметров работы компрессора в зависимости от относительной скорости потока произведены для величины рабочего давления струйного компрессора  $P_p = 16$  кгс/см<sup>2</sup>, величины инжектируемого давления струйного компрессора  $P_n = 2,5$  кгс/см<sup>2</sup>, расхода инжектируемого пара 60 т/ч.

На рис. 1 представлена зависимость предельного и расчетного коэффициентов инжекции струйного компрессора в зависимости от относительной скорости потоков в камере смешения при заданных температурах и давлениях рабочего и инжектируемого пара на входе компрессора.

На рис. 2 представлена зависимости предельного и расчетного коэффициента повышения давления

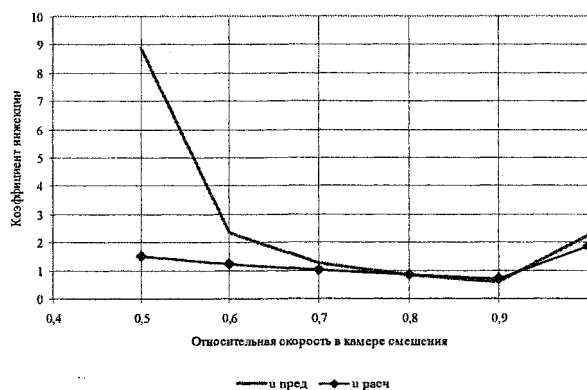


Рис. 1. Зависимость предельного и расчетного коэффициентов инжекции

инжектируемого пара на выходе компрессора в зависимости от относительной скорости потоков в камере смешения аппарата. Из рассмотрения режимов работы аппарата при наибольших расходах инжектируемого пара целесообразно рассчитывать повышение давления инжектируемого пара при достижимых коэффициентах инжекции не больше 1,5.

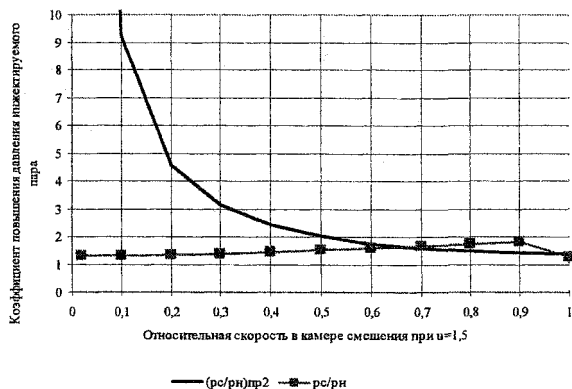


Рис. 2. Зависимость повышения давления инжектирующего пар на выходе компрессора

В результате предварительных расчетов рекомендуется устанавливать на промплощадке предприятия пароструйный компрессор, осуществляющий смешение низкопотенциального пара с промотборов турбин (2,5-2,7 кгс/см<sup>2</sup>, 60 т/ч) с паром (16 кгс/см<sup>2</sup>, 40 т/ч) с получением на выходе компрессора пара с давлением около 3,8 кгс/см<sup>2</sup> при расходе 100 т/ч.

### Заключение

1. Динамические процессы, протекающие в пароструйном компрессоре носят нелинейный характер. Основными ограничениями на устойчивую работу пароструйного компрессора являются относительные скорости потока во входном, выходном участке камеры смешения.
2. Пароструйный компрессор отличается простотой конструкции и рекомендуется использовать для утилизации отработанного пара.
3. Использование компрессора позволит обеспечить работу деаэраторов и сетевых бойлеров в зимний период при утилизации пара с промотбора 60 т/ч, что соответствует режиму работы турбин с максимальной выработкой электроэнергии.

### Литература

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. -М.: Энергоатомиздат, 1989. - 352 с.