

ЭЖЕКТОРНАЯ ПРИСТАВКА ДЛЯ РОТОРНОГО КОМПРЕССОРА

Ключевые слова: компрессор, холодильная машина, эжекторная приставка, математическая модель.

Комплектация роторного компрессора эжекторной приставкой позволяет повысить коэффициент полезного действия компрессора, коэффициент подачи и снизить нагрев газа. Адекватность математической модели подтверждается экспериментом.

Keywords: compressor, chiller, ejector console, a mathematical model.

Rotary compressor equipment ejector attachment improves the efficiency of the compressor, the volume efficiency and reduce heating of the gas. Adequacy of the mathematical model is confirmed by experiment.

Оснащение роторного компрессора, работающего, в том числе в составе холодильной машины, эжекторной приставкой, позволяющей производить дополнительный подвод газа в отсеченную от всасывания рабочую полость, позволит повысить производительность компрессора, улучшить эффективность холодильного цикла. В процессе работы образование рабочей камеры компрессора должно обеспечивать достаточно протяженный по углу поворота ведущего ротора участок переноса замкнутой полости от всасывания до нагнетания при относительно небольшом росте давления. В качестве активного потока в эжекторной приставке может быть использован охлажденный газ с нагнетания компрессора, или поток, проходящий через дроссельное устройство холодильной машины.

Этот принцип реализован применительно к шестеренчатому компрессору внешнего сжатия с трехлопастными прямозубыми роторами (рис. 1). Корпус компрессора имеет радиальные окна 11 в виде прямоугольных щелей на всю длину ротора, через которые в отсеченные полости 9, в процессе их переноса при постоянном объеме, подаются дополнительные порции газа. Для этого с нагнетания отбирается часть потока, охлаждается в холодильнике 10 до температуры всасывания и направляется в активное сопло эжектора 6. Пассивное сопло эжектора подключено трубопроводом 5 к патрубку всасывания 3. Образовавшаяся в эжекторе смесь через диффузор 8, канал 12 и окна 11 подается в рабочие полости. Количество дополнительно подаваемого газа зависит от давления нагнетания, параметров эжектора.

Экспериментальная часть

Математическое моделирование рабочих процессов в таком компрессоре производится с учетом допущений о идеальности сжимаемого газа, однородности полей давления и температуры по объему рабочей полости, мгновенного изменения давления и температуры при повороте ротора на угол $d\varphi$, на базе уравнений термодинамики тела переменной массы с учетом массообмена рабочих

полостей через уплотняющие щелевые зазоры, уравнений движения газа в эжекторе, уравнения смешения:

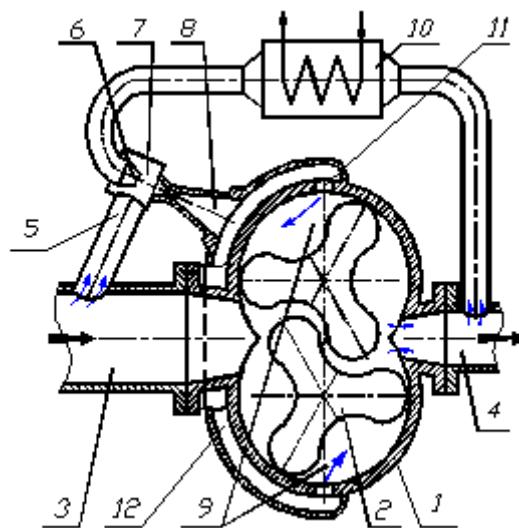


Рис. 1 – Схема компрессора с эжекторной приставкой

$$\begin{aligned} \frac{dp}{d} &= \frac{k-1}{\omega \cdot V} \cdot \omega \frac{dQ}{d} + \sum_{j=1}^{N_1} m_{np} h_{np} - \\ &- \frac{k-1}{\omega \cdot V} \cdot \left(\sum_{j=1}^{N_2} m_{yr} h - \frac{k}{k-1} \omega \cdot p \frac{dV}{d} \right); \\ \frac{dT}{d} &= (k-1) \cdot \frac{T}{\omega \cdot p \cdot V} \times \\ &\times \left(\omega \frac{dQ}{d} + \frac{k-1}{k} h \left(\sum_{j=1}^{N_1} m_{np} - \sum_{j=1}^{N_2} m_{yr} \right) \right) + \\ &+ (k-1) \frac{T}{\omega \cdot p \cdot V} \times \\ &\times \left(\sum_{j=1}^{N_1} m_{np} (h_{np} - h) - \omega \cdot p \frac{dV}{d} \right), \end{aligned}$$

где p , T , V – давление, температура газа в рабочей полости, объем полости; ω – угловая скорость вращения ротора, k – показатель адиабаты, Q – количество теплоты, отведенной (подведенной) от

газа в рабочем процессе, h – энтальпия газа, φ – угол поворота ротора, m – массовый расход притечек – утечек газа через щелевые зазоры; N_1 , N_2 – количество щелевых зазоров через которые происходят притечки и утечки газа; индексы пр-притечки, УТ – утечки.

В результате решения уравнений математической модели численными методами получены текущие значения давления, температуры газа от угла поворота ротора φ , интегральные характеристики компрессора: производительность, коэффициент подачи, КПД в зависимости от режимных параметров компрессора, параметров напуска газа.

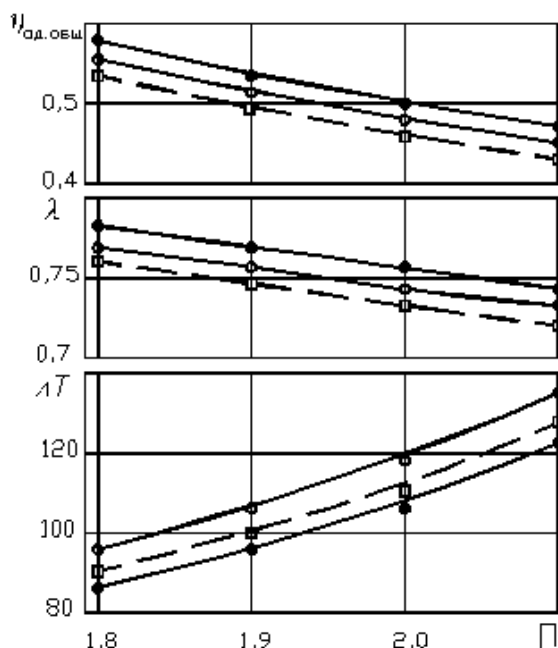


Рис. 2 – Экспериментальные характеристики шестеренчатого компрессора: ○ – компрессор без перепуска газа с нагнетания; ● – компрессор с перепуском через эжекторную приставку (рис. 1); □ – компрессор с простым перепуском охлажденного газа с нагнетания

Для проведения экспериментальных испытаний компрессора с эжекторной приставкой создан стенд на базе регулируемого по частоте привода, шестеренчатого компрессора с трехлопастными роторами циклоидально-окружного профиля (диаметр ротора 113,7 мм, длина – 150 мм, теоретическая производительность $8 \cdot 10^{-4}$ м³/об). Конструкция стенда позволяет снимать скоростные и нагрузочные характеристики компрессора при

различных параметрах активного потока в эжекторе. Оптимальные параметры эжектора, такие как диаметр активного сопла и камеры смешения подобраны в результате расчетов и экспериментальных исследований.

С целью выявления влияния перепуска газа проводились испытания машины без перепуска газа, с простым перепуском части охлажденного газа с нагнетания в отсеченную полость, затем с перепуском через эжекторную приставку. Испытания проведены при постоянной окружной скорости на наружном диаметре ротора, равной 30 м/с и различных величинах отношения давлений $\Pi = p_{\text{наг}}/p_{\text{вс}}$.

Положительный эффект повышения КПД, коэффициента подачи наблюдался в последнем случае (рис.2). Температура нагнетания газа при этом снижается на 8%, адиабатный КПД $\eta_{\text{ад.общ.}}$, коэффициент подачи λ повышаются в среднем на 2 – 3%. В случае простого перепуска части охлажденного газа, без дополнительного подсоса газа со всасывания температура нагнетания также снижается, но наблюдается ухудшение эффективности работы компрессора т.к. КПД $\eta_{\text{ад.общ.}}$, λ компрессора снижаются на 1,5 – 2 %.

Литература

1. Александров, В.Ю. Оптимальные эжекторы. Теория и расчет / В.Ю. Александров, К.К. Климовский. – М.: Машиностроение, 2012. – 428 с.
2. Хисамеев, И.Г. Создание винтовых компрессорных установок нового поколения/ И.Г. Хисамеев, М.Г. Абдраев, Ю.А. Паранин, М.Т. Садыков, Р.Р. Якупов//Вестник Казан. технол. ун-та. – 2011. - №17. – С. 110-125.
3. Максимов, В.А. Компрессорное и холодильное машиностроение на современном этапе/ В.А. Максимов, А.А. Мифтахов, И.Г. Хисамеев // Вестник Казан. технолог. ун-та. – 1998. – № 1. – С. 100-110.
4. Акишинская В.В. Математическое описание термодинамических процессов в объемных компрессорах со впрыском масла в рабочую полость/ В.В.Акишинская, Т.Н.Мустафин, М.С.Хамидуллин, Г.Н.Чекушкин, И.Г.Хисамеев// Вестник Казан. технолог. ун-та. – 2011. – № 5. – С. 96-103.
5. Акишинская В.В. К вопросу определения профильных зазоров в героторном компрессоре с окружным профилем/ В.В.Акишинская, Т.Н.Мустафин, М.С.Хамидуллин, Г.Н.Чекушкин, И.Г.Хисамеев// Вестник Казан. технолог. ун-та. – 2011. – № 17. – С. 188-193.
6. Мустафин Т.Н. Геометрический анализ зацепления роторов винтового компрессора/ Т.Н.Мустафин, Р.Р.Якупов, В.В.Акишинская, М.С.Хамидуллин, И.Г.Хисамеев// Вестник Казан. технолог. ун-та. – 2013. – Т.16 -№ 17. – С. 273-277.

© А. А. Филонычев – ассистент кафедры холодильной техники и технологий КНИТУ, andref@bk.ru; В. В. Акшинская – ассистент кафедры холодильной техники и технологий КНИТУ, mveronika@yandex.ru.

© A. A. Filonychev – assistant Department Refrigeration equipment and technologies KNRTU, andref@bk.ru; V. V. Akshinskaya – assistant Department Refrigeration equipment and technologies KNRTU, mveronika@yandex.ru.