

ОБЗОР ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМ-НАСОСАХ И КОМПРЕССОРАХ

Махмуд М.А.С., Родионов Ю.В., Никитин Д.В.

Тамбовский государственный технический университет, г.Тамбов

Ключевые слова: обзор, тепло-массообмен, жидкостнокольцевой вакуум-насос, компрессор.

Аннотация. Статья направлена на описание явления тепло-массообмена, возникающего при работе жидкостнокольцевых вакуум-насосов и компрессоров. Эти процессы, происходящие в этих машинах, значительно влияют на действительной быстроты действия, что приводит к снижению общей эффективности. Исследование этой проблемы с использованием методов вычислительной гидродинамики является актуальной задачей для надежного проектирования на следующих этапах.

REVIEW OF HEAT AND MASS TRANSFER PROCESSES IN LIQUID RING VACUUM PUMPS AND COMPRESSORS

Mahmood M.A.S., Rodionov Yu.V., Nikitin D.V.

Tambov State Technical University, Tambov

Keywords: review, heat and mass transfer, liquid ring vacuum pump, compressor.

Abstract. The article aims to describe the phenomenon of heat and mass transfer that occurs during the operation of liquid ring vacuum pumps and compressors. These processes occurring in these machines significantly affect the actual speed of action, causing a reduction in overall efficiency. The study of this problem using computational fluid dynamics techniques is an urgent task for reliable design in the next steps.

Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры (ЖВНС) – это наиболее часто используемые машины в промышленности для создания вакуума и сжатия газа. Эти машины представляют собой особую форму роторного насоса прямого вытеснения, и используют жидкость в качестве основного элемента при сжатии газа. Их также можно использовать в качестве компрессора. Достоинствами ЖВНС являются надежная работа, простота обслуживания, простая конструкция, простота обработки, компактный дизайн, стабильные, надежные и однородные результаты. Эти газожидкостные роторно динамические машины известны низким КПД (всего 25-50%) и высоким потреблением энергии, имеют рабочее колесо с лопастями, прикрепленными к центральной ступице, расположенной в цилиндрическом корпусе, как показано на рисунке 1. Такие машины широко используются для удаления паров топлива и воздуха из топлива, сушки материалов и др. [1-3].

Когда рабочее колесо вращается внутри корпуса, образуется жидкостное кольцо, впоследствии образуется серповидное пространство между жидкостным кольцом и ступицей рабочего колеса. Кроме того, внутренняя поверхность жидкостного кольца перемещается наружу и внутрь относительно рабочего колеса, тем самым образуя зону всасывания, зону сжатия и зону нагнетания, для обеспечения непрерывной перекачки газа.

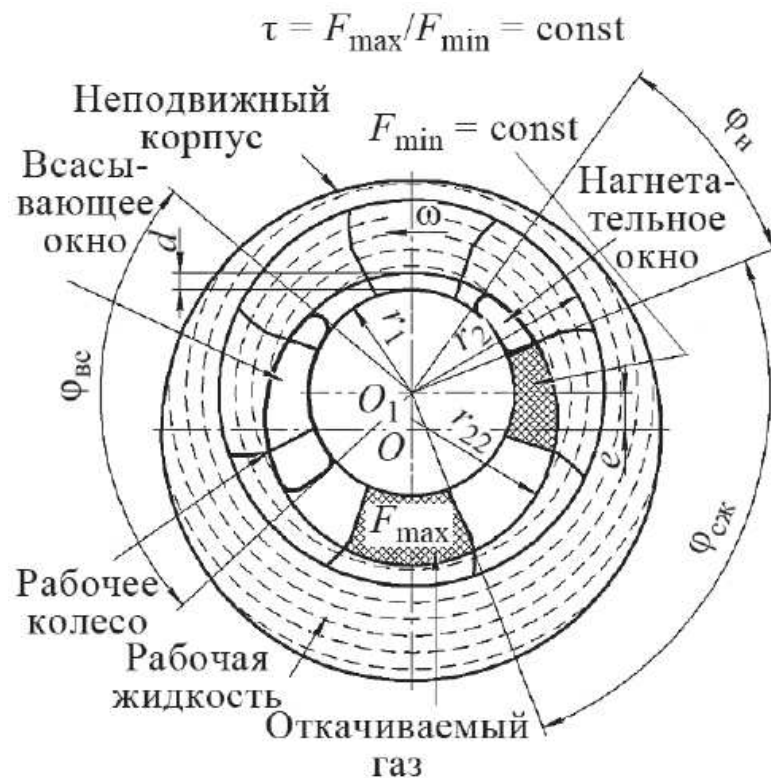


Рис. 1. Принципиальная схема базовой конструкции жидкостнокольцевых вакуум-насосов и компрессоров

Эффективная мощность и действительная быстрота действия ЖВНС являются важными параметрами, и их необходимо определять с учетом процессов тепло- и массообменных, сопровождающих работу этих насосов. Эффективная мощность выражается следующим образом [4]:

$$N_e = N_{сж} + N_z + N_{тр}, \quad (1)$$

$$S_o = S_T \cdot \lambda_{II}, \quad (2)$$

где $S_T = \pi \cdot (r_{22\phi}^2 - r_1^2) \cdot b \cdot \psi \cdot n$ – это теоретическая быстрота действия, λ_{II} – коэффициент подачи, который можно выразить следующим образом:

$$\lambda_{II} = 1 - \lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3, \quad (3)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – коэффициенты потерь быстроты действия.

При работе ЖВНС в рабочей полости происходят процессы тепломассопереноса (ТМП) между фазой жидкости и газа, поэтому капли жидкости испаряются, что приводит к снижению действительной быстроты действия. Эти потери быстроты действия характеризуются коэффициентом λ_3 . Жидкость нагревается за счет трения вращающегося кольца о стенку насоса, а также теплообмена с откачиваемым газом [5]. Для уменьшения этих потерь в коэффициенте (λ_3), жидкостное кольцо охлаждается за счет автоматической подачи дополнительной рабочей жидкости [4].

В рабочей полости ЖВНС теплообмен выражается следующим образом:

$$dQ = dQ_u + dQ_k + dQ_{кон} + dQ_{л} + dQ_{p.c.}, \quad (4)$$

где dQ_u – теплопередача за счет испарения жидкости, dQ_k – конденсации пара, $dQ_{кон}$ – конвекции, $dQ_{л}$ – излучения и $dQ_{p.c.}$ – сжатия газа.

Критерии Гухмана учитывают термодинамические свойства влажного воздуха, которые влияют на процесс испарения жидкости. Факторы, влияющие на процессы ТМП, учитываются критериями Архимеда и Прандтля. Критерий Нуссельта используется для характеристики конвективного теплообмена между жидкостью и твердой поверхностью.

Таким образом, прогнозирование процессов тепло- и массообмена в ЖВНС важно, поскольку эти процессы ухудшают производительность этих машин. Поскольку исследование влияния ТМП в рабочей полости ЖВНС является сложным, использование методов вычислительной гидродинамики (CFD) для прогнозирования воздействия ТМП является надежным методом оптимизации производительности этих насосов.

Список литературы

1. Фролов Е.С. Вакуумная техника / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова. – М.: Машиностроение, 1985. – 359 с.
2. Zhang Y.F. Application and research of new energy-efficiency technology for liquid ring vacuum pump based on turbulent drag reduction theory / Y.F. Zhang, F.B. Zhou, J.S. Li, J.H. Kang, Q.Q. Zhang // Vacuum. – 2020. – Vol. 172. – P. 109076.
3. Rodionov Y.V. Design of liquid-ring vacuum pump with adjustable degree of internal compression. / Y.V. Rodionov, Y.T. Selivanov, D.V. Nikitin, M.A. Mahmood, N.V. Mikheev // Chemical and Petroleum Engineering. – 2021. – Vol. 57. – № 5-6. – P. 477-483.
4. Родионов Ю.В. Совершенствование теоретических методов расчета и обоснование параметров и режимов жидкостнокольцевых вакуумных насосов с учетом особенностей технологических процессов в АПК: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Родионов Юрий Викторович. – Тамбов, 2012. – 434 с.
5. Osipov É.V. Influence of heat and mass exchange in a liquid ring vacuum pump on its working characteristics / É.V. Osipov, É.Sh. Telyakov, R.M. Latypov, D. Bugembe // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – Vol. 92. – № 4. – P. 1055-1063.

Сведения об авторах:

Махмуд Мохаммед Али Сами – аспирант, ТГТУ, г. Тамбов;

Родионов Юрий Викторович – д.т.н., профессор кафедры «Механика и инженерная графика», ТГТУ, г. Тамбов;

Никитин Дмитрий Вячеславович – к.т.н., доцент кафедры «Механика и инженерная графика», ТГТУ, г. Тамбов.