

УДК 621.516

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ЖИДКОСТНОГО КОЛЬЦА В ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСАХ

Анастасия Игоревна Скоморохова¹

магистрант

nasta373@mail.ru

Григорий Вячеславович Рыбин¹

студент

enot1237@gmail.com

Сергей Иванович Данилин²

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой

¹Тамбовский государственный технический университет

г. Тамбов, Россия

²Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Анализируются методы определения формы внутренней поверхности жидкостного кольца в рабочей полости жидкостнокольцевого вакуумного насоса на основе взаимодействия гидравлического потока рабочей жидкости и термодинамического потока газовой среды. Получаемые гидродинамические параметры жидкостного кольца, позволяют проектировать оптимальные конструктивные параметры жидкостнокольцевых вакуумных насосов.

Ключевые слова: вакуумный насос, рабочая полость, жидкостное кольцо, гидродинамические параметры, проектирование.

Жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН) применяют в химической, целлюлозно-бумажной, горнодобывающей, текстильной, пищевой, металлургической и других отраслях промышленности. Правильный подбор соответствующей рабочей жидкости обеспечивает откачивание агрессивных газов (например, для перекачивания хлора используют серную кислоту) и не загрязняет откачиваемые газы и объемы парами масел [2-4, 6].

Такие насосы отличаются простотой конструкции, надежностью в эксплуатации, низким уровнем шума. Протекание процесса сжатия в них происходит с интенсивным теплообменом, что позволяет откачивать легкоразлагающиеся, полимеризующиеся и взрывоопасные газы и смеси. ЖВН также подходит для откачивания газов, содержащих пары, капельную жидкость и даже твердые включения. Основная особенность жидкостнокольцевых насосов состоит в том, что сжатие газа осуществляется за счет энергии жидкостного кольца, положение и форма которого зависят от геометрических размеров вакуумных насосов, скорости вращения рабочего колеса, режима работы и свойств рабочей жидкости. Также при определении формы жидкостного кольца вакуумного насоса должны учитываться вращение корпуса [8] и автоматическое изменение размеров окна нагнетания с помощью заслонки [7]. В свою очередь форма жидкостного кольца и качество протекающей жидкости влияют на основные характеристики жидкостнокольцевого насоса. Поэтому определение формы внутренней поверхности и расхода жидкости в кольце являются основой расчетов и оптимизации жидкостнокольцевых машин.

Как показывают экспериментальные данные, используемые в настоящее время методики расчета формы внутренней поверхности жидкостного кольца дают значительные ошибки в силу заложенных в них допущений. Применяются следующие экспериментальные методы: ультразвуковой, кондуктометрический и визуальный. Они основаны на определении границы раздела двух сред: жидкой и газообразной. Однако четкой границы между этими средами в процессе работы машины не наблюдается из-за вспенивания поверхностного слоя жидкостного кольца в результате действия различных факторов [1, 5, 9].

Особенно неудовлетворительны результаты измерений в зоне между нагнетательным и всасывающим окнами из-за повышенного насыщения жидкостного кольца газом. Поэтому указанные экспериментальные методы тоже не позволяют с достаточной точностью определить форму жидкостного кольца и, особенно, массу рабочей жидкости, протекающей в любом его сечении.

Известен также метод определения очертаний внутренней поверхности жидкостного кольца и давления газа в ячейках ротора путем измерения полного давления в безлопаточном пространстве и давления жидкости на корпусе. Однако в этом методе не учитываются потери давления в ячейках ротора за счет различного рода перетечек газа, а также влияние относительных сил, действующих на жидкостное кольцо в процессе возвратно-поступательного движения жидкости в межлопаточном пространстве.

Для более точного определения формы жидкостного кольца необходимо физические процессы в насосе представить в виде взаимодействия двух потоков: гидравлический поток рабочей жидкости и термодинамический поток газовой среды.

Для гидравлического потока рабочей жидкости воспользуемся уравнением Навье-Стокса в декартовой системе координат [5]:

$$\left. \begin{aligned} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_{\Gamma} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right), \\ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_{\Gamma} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right), \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

p – давление; x, y – координаты частицы жидкости; u – компонента радиальной скорости; v – компонента окружной скорости; ρ – плотность.

Для решения задачи о движении жидкости необходимо к этим уравнениям формулируются граничные условия для гидравлического потока жидкости и газовой среды в соответствующей ячейке рабочего колеса [5].

Для решения системы дифференциальных уравнений (1) воспользуемся программным продуктом фирмы PDE Solutions Inc FlexPDE, предназначенным для построения сценарных моделей решения дифференциальных уравнений методом конечных элементов.

На рисунке 1 демонстрируется результат численного решения.

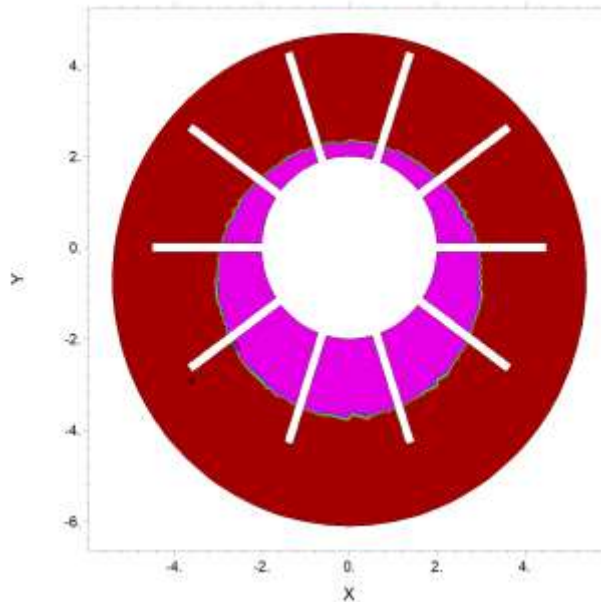


Рисунок 1 – Форма внутренней поверхности жидкостного кольца, полученная численным методом в программном продукте FlexPDE

Результаты численного моделирования позволяют определить распределение скорости жидкости и давления в рабочей полости жидкостнокольцевого вакуумного насоса, расход жидкости в любом радиальном сечении, что является основой для вычисления, затрачиваемой мощности на перемещение потока жидкости и гидродинамических потерь в рабочей полости жидкостно-кольцевого вакуумного насоса.

Знание положения и конфигурации внутренней поверхности жидкостного кольца позволяет рационально выбирать основные конструктивные параметры жидкостно-кольцевого вакуумного насоса (величину погружения лопаток рабочего колеса, эксцентриситет, положение всасывающего и нагнетательного окон).

Список литературы:

1. Влияние конфигурации жидкостного кольца на рабочие параметры жидкостнокольцевого вакуумного насоса / Ю. В. Родионов, Ю. В. Воробьев, Д. В. Никитин, И. В. Шлыкова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2006. Т. 12. № 1. С. 129-136.
2. Возможности применения жидкостно-кольцевого вакуумного насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном при измельчении виноградных семян и выжимок / Ю. Ю. Родионов, А. И. Скоморохова, Ю. В. Родионов [и др.] // Магарач. Виноградарство и виноделие. 2021. Т. 23. № 1(115). – С. 55-60. DOI 10.35547/IM.2021.50.40.009. EDN ZIVCXO.
3. Использование жидкостнокольцевых вакуумных насосов в процессах АПК / Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов, А. В. Дьяченко, В. В. Крылов // Цифровизация агропромышленного комплекса: материалы II международной научно-практической конференции в 2-х томах. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет. 2020. С. 140-143.
4. Махмуд М. А. С., Родионов Ю. В., Никитин Д. В. Перспективы повышения энергосбережения жидкостнокольцевых вакуум-насосов и компрессоров при их использовании в конвективной сушке различных материалов // Энергосбережение и эффективность в технических системах: материалы VIII Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет". 2021. С. 104-105.
5. Никитин Д. В. Совершенствование конструкций и обеспечение заданных эксплуатационных характеристик жидкостнокольцевых вакуум-насосов : специальность 05.02.13 "Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Никитин Дмитрий Вячеславович. Тамбов, 2010. 158 с.

6. Новая конструкция жидкостнокольцевого вакуумного насоса / Ю. В. Родионов, Ю. Т. Селиванов, Д. В. Никитин [и др.] // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2019. № 6. С. 22-25.

7. Патент № 2303166 С2 Российская Федерация, МПК F04C 15/00. Жидкостно-кольцевая машина с автоматическим регулированием проходного сечения нагнетательного окна : № 2005116616/06 : заявл. 31.05.2005 : опубл. 20.07.2007 / А. В. Волков, Ю. В. Воробьев, Д. В. Никитин [и др.] ; заявитель ГОУ ВПО "Тамбовский Государственный Технический Университет" (ТГТУ).

8. Патент № 2492360 С2 Российская Федерация, МПК F04C 7/00, F04C 19/00. Жидкостно-кольцевая машина : № 2011144960/06 : заявл. 07.11.2011 : опубл. 10.09.2013 / П. А. Галкин, А. С. Зорин, Д. В. Никитин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Тамбовский государственный технический университет" ФГБОУ ВПО ТГТУ, Общество с ограниченной ответственностью "Новые агрегаты вакуумной сушки" ООО "Навакс".

9. Design of Liquid-Ring Vacuum Pump with Adjustable Degree of Internal Compression / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 5-6. P. 477-483. DOI 10.1007/s10556-021-00962-5.

UDC 621.516

**ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE SHAPE OF A
LIQUID RING IN LIQUID RING VACUUM PUMPS**

Anastasia I. Skomorokhova ¹

undergraduate

nasta373@mail.ru

Grigory V. Rybin ¹

student

enot1237@gmail.com

Sergej I. Danilin ²

Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department

¹Tambov State Technical University

Tambov, Russia

²Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. Methods for determining the shape of the inner surface of a liquid ring in the working cavity of a liquid ring vacuum pump are analyzed based on the interaction of the hydraulic flow of the working fluid and the thermodynamic flow of the gaseous medium. The resulting hydrodynamic parameters of the liquid ring make it possible to design the optimal design parameters of liquid ring vacuum pumps.

Key words: vacuum pump, working cavity, liquid ring, hydrodynamic parameters, design.

Статья поступила в редакцию 16.05.2022; одобрена после рецензирования 20.06.2022; принята к публикации 30.06.2022.

The article was submitted 16.05.2022; approved after reviewing 20.06.2022; accepted for publication 30.06.2022.