

ПО ИТОГАМ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ»
(г. Кострома, 14–18 декабря 2020 года)

Научная статья

УДК 621.65.07

doi 10.34216/2587-6147-2021-2-52-81-83

Владимир Сергеевич Петровский¹

Денис Иванович Архипов²

^{1,2}Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

¹v_petrovsky@ksu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0210-3604>,

²beji8520@maul.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4533-2087>

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РОТОРНЫХ НАСОСОВ

Аннотация. В статье рассмотрена работа трехлопастного роторного насоса, профиль лопасти которого состоит из нескольких сопряженных окружностей. Показано, что величина зазора между роторами является важным параметром, влияющим на качество насосов. При проектировании с использованием САД-систем можно выявить грубые ошибки, например пересечение поверхностей, определить величину зазора между роторами при фиксированном положении механизма. Однако определить величину зазора в динамике приведенным программным обеспечением не представляется возможным, необходима разработка цифровой модели работы механизма. Рассмотренная в статье модель взаимодействия двух роторов, реализованная в программе Mathcad, позволяет при проектировании определить величину и характер изменения зазора при работе механизма.

Ключевые слова: роторные насосы, моделирование механизмов, построение криволинейного профиля, зазоры в механизме, метод обращенного движения, лопасть ротора, проектирование

Для цитирования: Петровский В. С., Архипов Д. И. Моделирование работы роторных насосов // Технологии и качество. 2021. № 2(52). С. 81–83. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-2-52-81-83>.

Original article

Vladimir S. Petrovsky, Denis I. Arkhipov

Kostroma State University, Kostroma, Russia

MODELLING THE OPERATION OF ROTARY PUMPS

Abstract. The article considers the operation of a three-bladed rotary pump, the blade profile of which consists of several conjugate circles. It is shown that the size of the gap between the rotors is an important parameter that affects the quality of pumps. When designing using CAD systems, it is possible to identify gross errors, for example, the intersection of surfaces, to determine the amount of gap between the rotors at a fixed position of the mechanism. However, it is not possible to determine the size of the gap in the dynamics of the given software, it is necessary to develop a digital model of the mechanism. The model of interaction of two rotors considered in the article, implemented in the Mathcad program, allows determining the size and nature of the gap change during the operation of the mechanism.

Keywords: rotary pumps, modeling of mechanisms, curved profile construction, gaps in mechanism, reversed motion method, rotor blade, designing

For citation: Petrovsky V. S., Arkhipov D. I. Modeling the operation of rotary pumps. *Tekhnologii i kachestvo = Technologies & Quality*. 2021;2(52):81–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2021-2-52-81-83>.

В настоящее время при осуществлении производственных процессов, связанных с перекачиванием сырья и готовой продукции, ши-

роко применяются роторные насосы, к которым предъявляются повышенные требования к надежности. Нарушение нормальной работы узлов и машин в целом происходит как из-за неточности изготовления, так и в результате изменения

© Петровский В. С., Архипов Д. И., 2021

размеров трущихся деталей вследствие их износа. Износ приводит к увеличению зазора между роторами, а также между ротором и корпусом, что влечет за собой уменьшение производительности, потерю давления и работоспособности. Уменьшение зазора из-за погрешностей изготовления, деформации или теплового расширения деталей может привести к заклиниванию механизма. Поэтому зазор является важным параметром, влияющим на качество насоса, величину которого необходимо учитывать при проектировании механизма. Зазоры между роторами имеют сложную форму и изменяются при вращении ротора. Движение жидкости через зазоры сложной формы чаще всего не рассматривают, рассчитываются утечки жидкости через зазор простой формы, а влияние зазора сложного профиля учитывается коэффициентом [1], что может снизить точность расчета.

При проектировании с использованием САД-систем можно выявить грубые ошибки, например пересечение поверхностей, определить величину зазора между роторами при фиксированном положении механизма. Однако определить величину зазора в динамике приведенным программным обеспечением не представляется возможным, необходима разработка цифровой модели работы механизма.

В качестве примера рассмотрим работу трехлопастного роторного насоса, профиль лопасти которого состоит из нескольких сопряженных окружностей (рис. 1). Профиль задан окружностью головки r_1 и окружностью впадины r_2 , соединенных окружностью r_3 . Впадины на роторе ограничены окружностью R_1 , головки окружностью R_2 , головка повернута относительно впадины на угол ε . На все эти параметры заданы допуски, и каждый из параметров может быть проконтролирован.

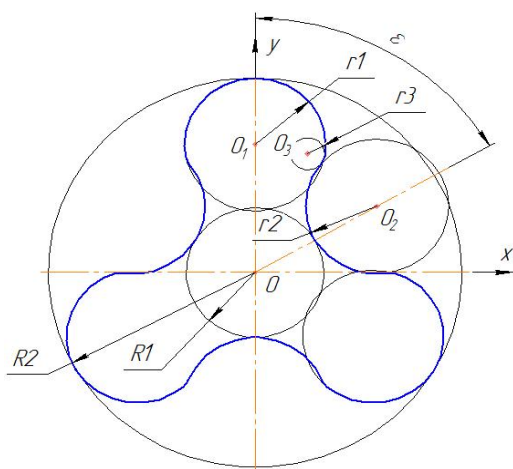


Рис. 1. Расчетная схема профиля лопасти ротора

Для построения профиля необходимо в первую очередь найти центры окружностей. Поместим неподвижную систему координат XOY в центр ротора в т. O , тогда:

– координаты центра головки O_1 :

$$xO_1 = 0; yO_1 = R_2 - r_1;$$

– координаты центра O_2 :

$$xO_2 = (R_1 + r_2) \sin \varepsilon;$$

$$yO_2 = (R_1 + r_2) \cos \varepsilon.$$

Так как окружность r_3 касательная к окружностям r_1 и r_2 , то центр O_3 сопряженной окружности будет находиться на пересечении двух радиусов r_4 и r_5 : $r_4 = r_1 - r_3$; $r_5 = r_2 + r_3$.

Координаты центра xO_3 , yO_3 могут быть найдены из решения системы уравнений:

$$\begin{cases} (xO_3 - xO_1)^2 + (yO_3 - yO_1)^2 = r_4^2; \\ (xO_3 - xO_2)^2 + (yO_3 - yO_2)^2 = r_5^2. \end{cases}$$

Координаты точки контакта (x_{13}, y_{13}) промежуточной окружности r_3 и головки колеса r_1 можно найти из решения системы уравнений:

$$\begin{cases} (x_{13} - xO_1)^2 + (y_{13} - yO_1)^2 = r_1^2; \\ (x_{13} - xO_3)^2 + (y_{13} - yO_3)^2 = r_3^2. \end{cases}$$

Аналогично могут быть найдены координаты (x_{23}, y_{23}) точки контакта впадины с переходной окружностью:

$$\begin{cases} (x_{23} - xO_2)^2 + (y_{23} - yO_2)^2 = r_2^2; \\ (x_{13} - xO_3)^2 + (y_{13} - yO_3)^2 = r_3^2. \end{cases}$$

По полученным координатам построены половина профиля впадины и головки. Копируя профиль относительно оси ординат и вспомогательной прямой под углом ε , получен полный профиль ротора (см. рис. 1).

Для моделирования зацепления роторов создадим второй профиль, поместив его центр O_4 на оси ординат, сместив на величину межосевого расстояния A ($xO_4 = 0$; $yO_4 = A$). Повернем профили так, чтобы центры головки и впадины находились на межосевой прямой, головка внизу, впадина вверху. Для определения формы и величины зазора между роторами используем метод обращенного движения. Повернем головку по часовой стрелке вокруг точки O , впадину против часовой стрелки вокруг точки O_4 на угол φ , затем обе кривые повернем против часовой стрелки вокруг точки O на угол φ . Для поворота профилей используем поворот системы координат в противоположную сторону.

Например, поворот кривой (x, y) вокруг т. O по часовой стрелке:

$$\begin{cases} x_1 = x \cos \varphi + y \sin \varphi; \\ y_1 = -x \sin \varphi + y \cos \varphi. \end{cases}$$

Модель работы механизма, реализованная в программе Mathcad, представлена на рис. 2.

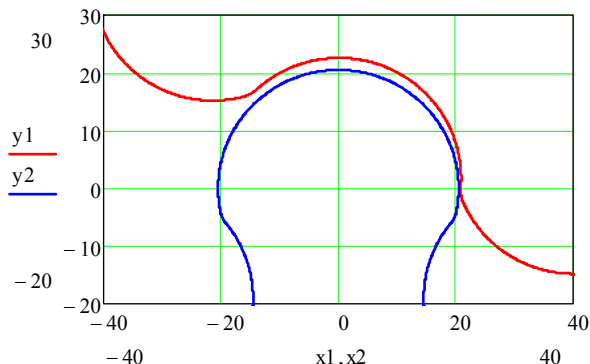


Рис. 2. Моделирование взаимодействия двух роторов

Переведем кривые в полярную систему координат:

$$\rho_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2};$$

$$\rho_2 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}.$$

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Боровин Г. К., Костюк А. В. Математическое моделирование мультифазного двухвинтового насоса // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2008. № 18. 20 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2008-18> (дата обращения: 14.12.2020).

REFERENCES

1. Borovin G. K., Kostyuk A. V. Matematicheskoe modelirovanie mul'tifaznogo dvuhvintovogo nasosa // Preprinty IPM im. M. V. Keldysha. 2008. № 18. 20 s. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2008-18> (data obrashcheniya: 14.12.2020).

Тогда зазор Δ , определенный по нормали к профилю головки ротора: $\Delta = \rho_2 - \rho_1$. На рис. 3 показано изменение зазора при различных углах поворота ротора.

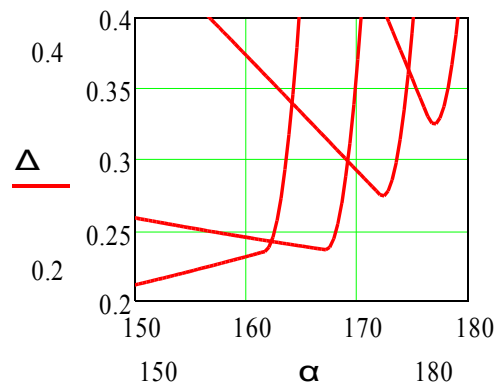


Рис. 3. Изменение формы зазора при различных положениях ротора

Из рисунка видно, что характер и величина зазора резко меняются при контакте роторов переходными радиусами r_3 .

ВЫВОД

Разработанная модель позволяет по фактическим размерам механизма определить величину и характер изменения зазора при его работе и внести необходимые коррективы в размеры и допуски деталей еще на стадии проектирования изделия.

Статья поступила в редакцию 14.01.2021
Принята к публикации 27.05.2021