

## К ВОПРОСУ О СИНТЕЗЕ СОПРЯЖЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ ДЛЯ КОНСТРУКЦИИ ЖИДКОСТНОКОЛЬЦЕВОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА С ВРАЩАЮЩИМСЯ КОРПУСОМ

*Абрамов М.С., Галкин П.А.*

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов*

**Ключевые слова:** синтез профилей, сопряженные профили, жидкостнокольцевой вакуум-насос.

**Аннотация.** В статье освещен вопрос перехода от теоретических к практическим профилям рабочего колеса и вращающегося корпуса при синтезе сопряженных профилей для жидкостнокольцевого вакуумного насоса. Приведена актуальность исследования вопроса совершенствования конструкций таких агрегатов. Рассмотрены схемы перехода от теоретических к практическим сопряженным профилям. Представлены расчетные формулы для определения радиусов окружности выступов рабочего колеса и внутреннего радиуса корпуса.

## TO THE QUESTION OF SYNTHESIS OF CONJUGATE PROFILES ON CONDITION OF CONSTANCY OF TRANSMISSION RATIO FOR THE DESIGN OF LIQUID RING VACUUM PUMP WITH ROTATING BODY

*Abramov M.S., Galkin P.A.*

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Keywords:** profile synthesis, conjugate profiles, liquid ring vacuum pump

**Abstract.** The paper deals with the issue of transition from theoretical to practical profiles of impeller and rotating casing at synthesis of conjugate profiles for liquid ring vacuum pump. The urgency of research of the question of improvement of designs of such units is given. The schemes of transition from theoretical to practical conjugate profiles are considered. Calculation formulas for determining the radii of the impeller protrusion circumference and the inner radius of the casing are presented.

В настоящее время жидкостнокольцевые вакуумные насосы (ЖВН) широко используются в технологических процессах различных отраслей промышленности в качестве вспомогательного оборудования. Широкое распространение ЖВН получили из-за высокой степени ремонтпригодности, надежности, они не чувствительны к попаданию в рабочую полость твердых частиц, а также, что немаловажно, не имеют маслонасосов и специальных систем смазки (кроме подшипниковых узлов, которые нуждаются в консистентной смазке) [1]. Тем не менее, такие агрегаты имеют ряд недостатков – высокие энергозатраты и относительно низкий КПД. В основном это объясняется конструктивными особенностями самих ЖВН, а именно тем, что при вращении рабочего колеса, жидкость испытывает высокие сдвиговые деформации, т.к. корпус является звеном статичным, что в конечном итоге может приводить к нестабильности формы жидкостного кольца, а это, в свою очередь, к снижению КПД [2, 3]. Тем самым, в настоящей статье рассматривается техническое решение, важной составляющей которого является синтез сопряженных профилей для конструкции насоса с вращающимся корпусом.

Подобные технические решения встречаются достаточно редко. Это, в первую очередь обусловлено сложностью выполнения отдельных деталей или узлов насоса в целом. Однако доказано, что применение ЖВН с вращающимся корпусом позволяет снизить затраты мощности, подводимые к валу насоса как минимум на 20% [1, с. 25].

Схема такого насоса представлена на рисунке 1. Основными его деталями являются рабочее колесо 1 и вращающийся корпус 2. Одним из важных этапов проектирования сопряженных поверхностей, образующих кинематическую связь между двумя звеньями механизма, является построение практических профилей элементов. Данный этап характерен тем, что при этом известна форма теоретических профилей элементов высшей кинематической пары, спроектированных исходя из удовлетворения какой-либо целевой функции. В нашем случае использовался критерий получения заданного постоянного передаточного отношения ( $U_{12} = const$ ) при передаче движения от рабочего колеса 1 вращающемуся корпусу 2.

Кроме целевой функции, для уточнения множества возможных решений были использованы дополнительные условия синтеза.

1) Обеспечение непрерывности взаимодействия, характеризуемое коэффициентом перекрытия  $\epsilon_\alpha$ . Для сохранения постоянной кинематической связи необходимо, чтобы во взаимодействии каждый момент времени находилась как минимум одна пара элементов. Это достигается при выполнении условия  $\epsilon_\alpha \geq 1$ .

2) Условие отсутствия интерференции профилей вне зоны взаимодействия.

Однако, сформированные таким образом профили элементов кинематической пары, представляют собой взаимодействие двух кривых. На практике же происходит взаимодействие лопасти колеса и лопатки корпуса, имеющих определенную толщину, которая не учитывается при построении теоретических профилей. Таким образом, необходимо осуществить построение практических профилей звеньев при известных теоретических. При этом главным условием будет обеспечение взаимодействия теоретических профилей.

Схема построений представлена на рисунке 1.

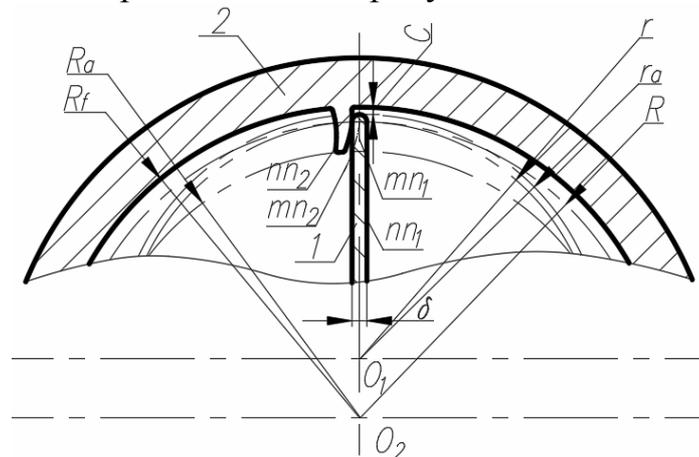


Рис. 1. Переход от теоретических сопряженных профилей к практическим: 1 – лопастное (рабочее) колесо, 2 – вращающийся корпус,  $r$  – радиус лопастного колеса,  $r_a$  – радиус окружности выступов лопастного колеса,  $R$  – внутренний радиус корпуса,  $R_a$  – радиус окружности выступов корпуса,  $R_f$  – радиус корпуса, исключаящую интерференцию

Толщина лопасти рабочего колеса  $\delta$  наращивается симметрично относительно линии теоретического профиля ( $mn_1$ ). При этом контактная поверхность лопасти из острия преобразуется в окружность диаметром  $\delta$ . Появляется окружность выступов лопастей радиус которой  $r_a$ , который определится по формуле:

$$r_a = r + \frac{\delta}{2}. \quad (1)$$

Для исключения наложения вершины лопасти колеса 1 и корпуса 2 необходимо обеспечить радиальный зазор  $c$ . Тогда радиус окружности впадин (внутренний радиус) корпуса определится по формуле:

$$R_f = R + \frac{\delta}{2} + c. \quad (2)$$

При построении практического профиля лопатки корпуса ( $nn_2$ ) необходимо обеспечить взаимодействие теоретических профилей  $mn_1$  и  $mn_2$ . Так как лопасть колеса 1 получила толщину  $\delta$ , то практический профиль  $nn_2$  будет представлять собой кривую, эквидистантную профилю  $mn_2$ , причем дистанция определяется как  $\delta/2$ . Построение осуществляется нахождением огибающей семейства окружностей радиусом  $\delta/2$ , центры которых располагаются в точках теоретического профиля  $mn_2$  (рисунок 4.2).

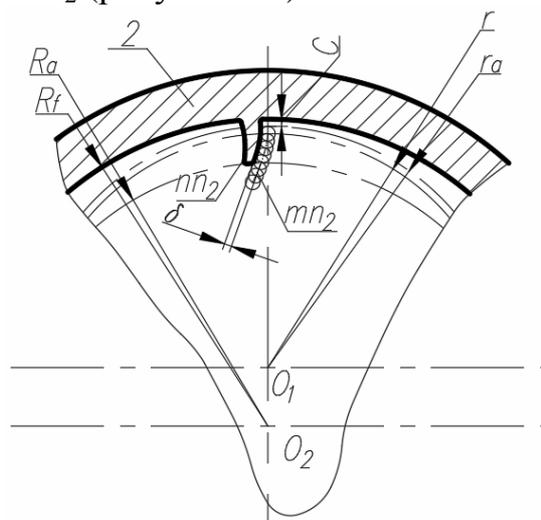


Рис. 2. Построение практического профиля лопатки вращающегося корпуса по огибающей семейства окружностей

Часть практического профиля  $nn_2$ , расположенная между окружностями  $R$  и  $R_f$  не является рабочей и может быть проведена по радиальной прямой. Участок профиля  $nn_2$ , соединяющий его с внутренней поверхностью корпуса радиусом  $R_f$  (галтель), в зависимости от способа изготовления этих деталей, может быть очерчен по какой-либо переходной кривой (например, по окружности). Так же возможно сформировать сопряжение внутренней поверхности корпуса и радиально расположенной лопаткой под прямым углом.

С внешней стороны профиль лопатки корпуса ограничен окружностью выступов, радиус которой  $R_a$ , определяется исходя из двух условий: с одной стороны, обеспечение непрерывности взаимодействия, с другой стороны,

отсутствие интерференции вне зоны зацепления. Таким образом вершина лопатки корпуса 2 описывается дугой окружности  $R_a$ .

Обратная (нерабочая) сторона лопатки образуется поворотом рабочего профиля на определенный угол, относительно оси корпуса 2 для получения необходимой толщины. Следует отметить, что толщина лопасти колеса 1 и лопатки корпуса 2 определяется исходя из условий прочности на изгиб, в зависимости от габаритных размеров и производительности насоса.

Таким образом, повышение энергоэффективности ЖВН возможно осуществить с помощью обеспечения зацепления между рабочим колесом и вращающимся корпусом. При этом, синтез сопряженных профилей играет важную роль при проектировании таких агрегатов, т.к. это будет являться основой для передачи движения от ведущего (рабочего колеса) к ведомому звену (корпусу) с постоянным передаточным отношением.

### Список литературы

1. Райзман И.А. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы и компрессоры. – Казань: Казанский гос. техн. ун-т, 1995. – 258 с.
2. Галкин П.А., Абрамов М.С., Арестов А.Н. Применение и способ совершенствования конструкции жидкостнокольцевого вакуумного насоса // Современная наука: теория, методология, практика: Материалы IV Всероссийской национальной научно-практической конференции, Тамбов, 20–21 апреля 2022 года. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2022. – С. 157-160.
3. Абрамов М.С., Галкин П.А., Баранов А.А. Аспекты разработки новой конструкции жидкостнокольцевого вакуумного насоса с высшей кинематической парой // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 758-788.

### Сведения об авторах:

*Абрамов Михаил Сергеевич* – аспирант;

*Галкин Павел Александрович* – к.т.н., доцент кафедры «Механика и инженерная графика».