

Цзяи Ли, Лилия Пастухова
Jiayi Li, Lilia Pastukhova

**СООТВЕТСТВИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК
РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ТРЕБОВАНИЯМ
ГОСТ Р 54806–2011**

**COMPLIANCE OF THE RESULTS OF OPTIMIZATION OF THE
CHARACTERISTICS OF THE CENTRIFUGAL PUMP IMPELLER WITH THE
REQUIREMENTS OF GOST R 54806-2011**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg

Центробежные насосы находят широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве и в быту, в этой связи актуальным является вопрос повышение эффективности их использования. Существует целый ряд направлений развития конструкции центробежных насосов, в частности совершенствование рабочего колеса, а именно: изменение количества лопастей рабочего колеса; изменение входного и выходного каналов (новые); изменение геометрии лопастей рабочего колеса; обрезание рабочего колеса; уменьшение износа частиц на рабочем колесе при двухфазном потоке твердых тел и жидкостей; новые типы лопастей (крестообразные лопасти) и другие. В данной работе проведена оценка соответствия модификации конструкции центробежного насоса за счет обрезки рабочих колес и изменения количества лопастей рабочего колеса требованиям государственного стандарта ГОСТ Р 54806—2011, что сделало возможным сформулировать суждение о допустимости внесения в конструкцию насоса данного типа изменений.

Centrifugal pumps are widely used in industry, agriculture and in everyday life, in this regard, the issue of increasing the efficiency of their use is relevant. There are a number of directions for the development of the design of centrifugal pumps, in particular the improvement of the impeller, namely: changing the number of impeller blades; changing the input and output

Цзяи Ли – студент магистратуры
Пастухова Л. Г. – кандидат технических наук

channels (new); changing the geometry of the impeller blades; cutting the impeller; reducing the wear of particles on the impeller with a two-phase flow of solids and liquids; new types of blades (cruciform blades) and others. In this paper, an assessment was made of the compliance of the modification of the design of the centrifugal pump by trimming the impellers and changing the number of impeller blades with the requirements of the state standard GOST R 54806-2011, which made it possible to formulate a judgment on the admissibility of making changes to the design of this type of pump.

Ключевые слова: Центробежные насосы, новые рабочие колеса, оптимизация производительности, численное моделирование, модернизация

Keywords: Centrifugal pumps, new impellers, performance optimisation, numerical simulation, modernization

Введение. Общее электропотребление всех типов насосов в мире оставляет до 20 % генерируемой в мире электроэнергии. Например, без воды и канализирования бытовых отходов и обеспечивающих их насосов не может существовать ни одна современная цивилизация. Однако промышленное производство насосов, существующее не один век, — очень консервативная отрасль, недостаточно использует актуальные достижения современных технологий и науки.

Так, улучшение энергетических, кавитационных и массовых характеристик центробежных насосов является одним из основных направлений развития их технических свойств.

Принято определять следующие направления развития центробежных насосов, в частности модификации их рабочих колес:

- изменение числа лопастей рабочего колеса;
- изменение входного и выходного проходов (новые);
- изменение геометрии лопастей рабочего колеса;
- разрезание рабочего колеса;
- уменьшение износа рабочего колеса частицами в твердо-жидкостном двухфазном потоке;
- новый тип лопастей (крестообразные лопасти).

Два наиболее часто используемых метода - "разрезание рабочего колеса" и "изменение числа лопастей рабочего колеса", в то время как последний - "новый тип поперечных лопастей" - является относительно новым и инновационным.

Рассмотрим приставленные варианты модернизации рабочих колес центробежного насоса более детально.

Изменение количества лопастей рабочего колеса. Увеличение числа лопастей может в определенной степени улучшить производительность насоса при одновременном снижении вторичного потока. Однако, если количество лопастей превышает определенный уровень, потери на трение возрастают. Увеличение зазора между лопатками может значительно снизить напор и эффективность насоса, поскольку образование вторичного потока влияет на первичный поток между лопатками. По сравнению с закрытым рабочим колесом, полуоткрытое рабочее колесо с определенным зазором снижает производительность на 1e4%. При увеличении зазора напор и эффективность насоса снижаются. Кроме того, механизм потерь из-за зазора для твердо-жидкостных смесей аналогичен механизму потерь для насосов с однофазными жидкостями.

Закрытые рабочие колеса с кожухами спереди и сзади считаются наиболее подходящей конфигурацией рабочего колеса. Обычно используемые для чистых жидкостей, закрытые рабочие колеса обеспечивают более высокий КПД по сравнению с другими типами рабочих колес, поскольку оба лопастных венца ограничивают вторичный поток из зоны нагнетания в зону всасывания вокруг лопастей. Кроме того, осевые нагрузки на вал насоса лучше сбалансированы. Однако они не подходят для перекачивания жидкостей, содержащих твердые частицы. Открытые рабочие колеса без лопаточного венца используются для перекачивания смешанных жидкостей, но эффективность насоса значительно снижается из-за значительных утечек из области высокого давления вокруг лопаток в область низкого давления. Полуоткрытые рабочие колеса с кожухом на задней стороне и небольшим зазором между корпусом и рабочим колесом используются исключительно для перекачивания жидкостей, смешанных с твердыми частицами. Эффективность полуоткрытых рабочих колес выше, чем открытых, но все же ниже, чем закрытых. Из-за своих небольших размеров и малого веса насосы с полуоткрытым рабочим колесом, скорее всего, были разработаны для аэрокосмической отрасли, а эти две особенности приводят к меньшему механическому напряжению на смежные компоненты и снижению производственных затрат.

Обрезка рабочих колес. Обрезание внешнего диаметра рабочего колеса приводит к увеличению зазора между рабочим колесом и направляющим аппаратом (спиральным дивертором). Это сплющивает поток воды за центробежным колесом, что приводит к уменьшению взаимодействия сил между потоком воды и рабочим колесом.

Это приводит к уменьшению взаимодействия сил между рабочим колесом и крыльчаткой центробежного насоса. Это используется, когда необходимо уменьшить пульсацию давления, вихревые токи и шум при перекачке. Резка рабочего колеса

применяется производителями насосов для расширения диапазона применения некоторых выпускаемых моделей насосов. При уменьшении выходного диаметра D_1 рабочего колеса снижается периферийная скорость u_2 . В результате напор, создаваемый рабочим колесом центробежного насоса, уменьшается, и скорость его подачи также снижается. Эксперименты показали, что если рабочее колесо обрезается умеренно, то эффективность насоса изменяется незначительно. Если рабочее колесо обрезается по наружному диаметру, то геометрическое подобие нарушается.

Новый тип рабочего колеса (скрещенные лопасти). Новая конфигурация рабочего колеса (скрещенные лопасти, с совершенно другой конструкцией лопастей) обеспечивает более высокий КПД и меньшую нагрузку на лопасти, чем обычное рабочее колесо "спина к спине". Цель состоит в том, чтобы увеличить нагрузку на лопасти за счет уменьшения количества лопастей. Новая конструкция дает преимущества в плане снижения коэффициента скольжения и повышения общей эффективности, а модификации старого рабочего колеса обеспечивают более высокую эффективность и меньшие габариты.

Численные результаты хорошо согласуются с экспериментальными результатами по коэффициенту напора и эффективности. С помощью численного моделирования исследованы поле давления, поле скорости и поле объема вихря на выходе из рабочего колеса; на основе этого предложено новое уравнение зависимости для коэффициента скольжения. Кроме того, новая конструкция имеет преимущества в снижении коэффициента скольжения и повышении общей эффективности, а модификация старого рабочего колеса имеет более высокую эффективность и меньший общий размер.

Несмотря на существование ряда способов модификации рабочих колес центробежных насосов унифицированного подхода к определению направлений повышения эффективности использования данного типа агрегатов в настоящее время не существует.

Таким образом, **целью** данной работ является формирование суждения о влиянии способов усовершенствования рабочих колес центробежных насосов характеристикам, представленным в государственном стандарте ГОСТ Р 54806—2011 «Насосы центробежные. Технические характеристики».

Результаты. Результаты сравнения представим в форме таблицы.

Таблица
Соответствие направлений модернизации рабочих колес центробежных насосов ГОСТ Р 54806—2011

Обрезка рабочих колес	Последствия улучшения	Уменьшение взаимодействия сил между рабочим колесом и крыльчаткой центробежного насоса. Возникает риск нарушения геометрического подобия
-----------------------	-----------------------	--

	Требования ГОСТ	Необходимо соответствие мощности насоса и заданного диаметра рабочего колеса
Изменение количества лопастей рабочего колеса	Последствия улучшения	Увеличение количества лопастей свыше предела может вызывать потери на трение и увеличение зазора между лопатками.
	Требования ГОСТ	<p>Зазор должен обеспечивать надежную работу и исключать возможность заедания на рабочем режиме.</p> <p>Для деталей, изготовленных из литого чугуна, бронзы, материалов с содержанием хрома 11% - 13% и с аналогично низкой склонностью к истиранию, должен быть применен минимальный зазор, установленный в стандарте.</p> <p>Для диаметра более 150 мм минимальный диаметральный зазор должен быть равен 0,43 мм плюс 0,025 мм зазора или соответствующая его доля на каждые дополнительные 25 мм диаметра или соответствующую его долю. Для материалов с большей склонностью к истиранию и/или для рабочих температур выше 260 °С к этим диаметральным зазорам должно быть прибавлено 0,125 мм</p>
Новый тип рабочего колеса (скрещенные лопасти).	Последствия улучшения	Обеспечивает более высокий КПД и меньшую нагрузку на лопасти, чем обычное рабочее колесо "спина к спине"
	Требования ГОСТ	Насосы могут быть одноступенчатые и многоступенчатые. Если расчетное значение напора на входе положительное или перепад давления превышает 0,35 МПа, насос необходимо проектировать с учетом уменьшения давления на уплотнение вала и с уравниванием осевой нагрузки (упор), если не указано другое. В одноступенчатых консольных исполнениях этого можно достигнуть с помощью уплотнительных колец или импеллера на задней части рабочего колеса. В многоступенчатых насосах это достигается расположением рабочих колес "спиной к спине" с дросселированием зазора распорных втулок и расположением рабочих колес "в линию" с использованием

		<p>цилиндра или диска для уравнивания.</p> <p>Другие конструктивные исполнения могут использоваться только при согласовании между потребителем и изготовителем</p>
--	--	--

Заключение. Таким образом, в ходе проведения исследования соответствия направлений совершенствования технологии конструкции рабочего колеса центробежного насоса положениям государственного стандарта ГОСТ Р 54806—2011, было выявлено, что все типы корректировки конструкции агрегата в случае их соответствия нормативу могут применяться при проектировании новых более эффективных моделей центробежных насосов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 郭傲辉, 刘小兵, 曾永忠, 李继栋, 罗红英. 基于 CFD 的离心泵叶轮水力性能优化//人民长江期刊, 第 46 卷 12 期
2. T. Capurso, L. Bergamini, M. Torresi . Design and CFD performance analysis of a novel impeller for double suction centrifugal pumps// Nuclear Engineering and Design, January 2019, Pages 155-166
3. T. Capurso, L. Bergamini, M. Torresi . Performance analysis of double suction centrifugal pumps with a novel impeller configuration// Energy Conversion and Management: X, May 2022, 100227
4. А.В. Некрасов. ЛОПАСТНЫЕ ГИДРОМАШИНЫ//Учебное электронное текстовое издание, Подготовлено кафедрой «Гидравлика»
5. Габдулов Ильяс Ниязович. РАСЧЕТ РАБОЧЕГО КОЛЕСА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА
6. 尚勇, 刘小兵, 曾永忠, 基于 CFD 的离心泵叶轮内部流动分析与试验对比//水电能源科学, 第 32 卷 4 期