

**СТУПЕНЬ НИЗКОЙ УДЕЛЬНОЙ БЫСТРОХОДНОСТИ:
ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА, НЕТРАДИЦИОННЫЕ
СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАПОРНОСТИ**

И. А. Ковалёв, канд. техн. наук, профессор,

А. В. Ратушный, аспирант,

Сумский государственный университет, г. Сумы

E-mail: ratusshny@pgm.sumdu.edu.ua

В работе обосновывается необходимость проведения исследований и создания ступени центробежного насоса низкой удельной быстроходности на основе нетрадиционных подходов к проектированию. Рассмотрены такие способы на основе анализа рабочего процесса подобной ступени.

Ключевые слова: низкая быстроходность, рабочий процесс, нетрадиционные подходы, энергёмкость, напорность.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что насосное оборудование является одним из самых энергоёмких в любой стране, причем чем более развитая страна, тем выше удельный вес потребляемой насосами энергии.

В различных отраслях промышленности энергопотребление насосов составляет в среднем 25-60 % [1]. Известно также, что снижение потребляемой энергии является сегодня ключевой задачей мирового сообщества. В частности, вышедшая в 2007 году Директива Евросоюза по этому вопросу предусматривает снижение общего энергопотребления в странах Европы к 2020 году на 20 %. Причем снижение энергопотребления насосным оборудованием предусматривается на уровне 40 % в сочетании с одновременным решением экологических проблем.

Одним из направлений достижения поставленных целей, на наш взгляд, являются разработка и широкое внедрение малорасходных и высоконапорных ступеней низкой удельной быстроходности.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И
АКТУАЛЬНОСТЬ СОЗДАНИЯ СТУПЕНИ НИЗКОЙ БЫСТРОХОДНОСТИ**

Проблема повышения энергоёмкости ступени лопастного насоса (повышение ее напорности при заданном расходе и габаритах) продолжает оставаться актуальной и в сегодняшних условиях в ряде случаев является решающей. Исходя из условий эксплуатации, для решения данной задачи могут быть использованы насосы объёмного принципа действия или динамические многоступенчатые насосы лопастного типа. Однако в первом случае накладывается жесткое ограничение на тип рабочей жидкости (чистые, неагрессивные), а во втором приходится преодолевать серьезные конструктивные и эксплуатационные проблемы (наличие длинного вала, больших осевых сил, внутренних объёмных потерь, необходимость обеспечения вибронадежности ротора и т. п.)

Рассматривая сферы применения лопастных насосов, можно сказать, что на стадии проектирования конструктору, как правило, приходится выбирать между конструктивно приемлемым числом ступеней и их удельной быстроходностью. Стремление получить от ступени более высокий напор неизбежно сопряжено со снижением её удельной быстроходности и, как следствие, КПД. Особенно резко эта

закономерность проявляется в малорасходных ступенях низкой и сверхнизкой быстроходности ($n_s = 30-60$).

Для проектирования современных многоступенчатых насосов, для которых обычно применяются ступени с $n_s = 70-90$ и $\eta = 72-84\%$, используются хорошо проверенные на практике расчетные методы, базирующиеся на классическом представлении о рабочем процессе. Однако использование этих рекомендаций при проектировании ступеней с более низкой быстроходностью ($n_s = 30-60$ и ниже) не обеспечивает приемлемых значений КПД, особенно в случаях неблагоприятного сочетания низкого n_s и малорасходности. Исследованию причин такого падения КПД посвящено ряд работ [2, 3, 4, 5], в которых указаны особенности рабочего процесса в таких ступенях, показана необходимость внесения в них корректировки. Но даже при осуществлении таких изменений ожидать существенного повышения КПД подобных ступеней не приходится, т. к. с понижением n_s возрастает относительная доля всех видов потерь энергии: гидравлических, механических и объемных, что отрицательно сказывается на общем КПД насоса.

Таким образом, обозначилась явная необходимость решительного отхода от классических рекомендаций при проектировании лопатных решеток низкой быстроходности. Для повышения напорности таких ступеней видится потенциал в привлечении нетрадиционных решеток (многоярусные, разрезные лопасти для управления пограничным слоем, уменьшения вредного влияния конечного числа лопастей и т. п.) Отдельные работы в таком направлении известны из области авиационной техники и компрессоростроения, а в насосостроении изредка встречались в 50-70-е годы прошедшего столетия. Однако глубокого исследования и распространения они не получили ввиду неубедительности результатов и были свернуты.

В настоящее время, когда создание ступеней с низкой и супернизкой удельной быстроходностью и с более высокой экономичностью уже не является чисто исследовательской задачей, а фактически стала необходимостью, следует вернуться к идее повышения напорности за счет нетрадиционных решений.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СТУПЕНИ НИЗКОЙ БЫСТРОХОДНОСТИ

Как известно, действительный напор на выходе из рабочего колеса можно определить как

$$H = \mu \cdot \eta_z \cdot H_{m\infty}, \quad (1)$$

где $H_{m\infty}$ - теоретический напор при бесконечном числе бесконечно тонких лопастей.

Исходя из приведенного уравнения, задачу по повышению энергоемкости ступени можно сформулировать следующим образом:

- за счет каких конструктивных решений можно повысить величину $H_{m\infty}$;
- как увеличить коэффициент μ (в пределе до 1), т. е. как уменьшить вредное влияние конечного числа лопастей;
- как увеличить величину η_z , т. е. уменьшить гидравлические потери в рабочем колесе;
- как получить оптимальное соотношение этих параметров?

Следует отметить, что данные вопросы не являются новыми или оригинальными, они следуют из самой логики поисков путей повышения напорности лопатного рабочего колеса. Поэтому её нетрудно обнаружить

в подавляющем большинстве работ специалистов в области лопастных гидромашин, разрабатывавших рекомендации по их проектированию.

Однако эти рекомендации дают хорошие результаты для высокой и средней быстроходности, но не учитывают особенностей рабочего процесса ступеней низкой и сверхнизкой быстроходности. Поэтому ставится задача, следуя вышеприведенной логике, получить ответы на поставленные выше вопросы, учитывая, во-первых, особенности процесса энергопередачи и кинематики течения в ступени сверхнизкой быстроходности, и, во-вторых, наметить целесообразные и приемлемые нетрадиционные или слабо изученные элементы лопастных решеток для таких удельных быстроходностей, приводящих в конечном счете к повышению ее энергоемкости и приемлемому КПД.

Следуя выводам работ [2, 3, 4, 5, 6], отметим основные особенности рабочего процесса в ступенях низкой и сверхнизкой быстроходности.

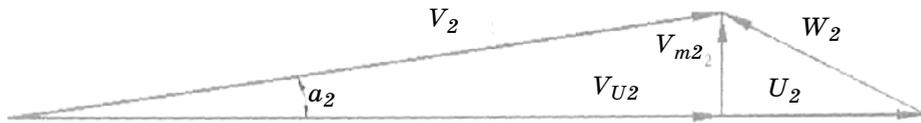


Рисунок 1 - Основные особенности рабочего процесса ступени низкой быстроходности

1. Относительно малая величина расходной составляющей абсолютной скорости потока, особенно на выходе из рабочего колеса, где $V_{m2}/V_{u2}=0,03-0,07$, обуславливает весьма малый угол выхода потока $\alpha_2=2-5^\circ$. Это обстоятельство накладывает особые требования к проектированию отводящего устройства ступени.

2. Указанное в п. 1 обстоятельство обуславливает уменьшение коэффициента реактивности рабочего колеса до значений $0,6-0,65$, что приводит к резкому возрастанию гидравлических потерь в отводе, где и так при более высоких быстроходностях доля гидравлических потерь достаточно высокая.

3. Для повышения коэффициента реакции необходимо повышать степень диффузорности рабочего колеса, поэтому приходится принимать для таких быстроходностей значение $(W_1/W_2)_{\text{опт}}=1,6-2,5$ при $n_s=30-60$, что значительно выше обычно рекомендуемых величин.

4. Стремление повысить расходную составляющую абсолютной скорости приводит к малой ширине проточной части ступени (например, $b_2/D_2=0,025-0,04$).

5. Непосредственно связанный со степенью диффузорности угол $\beta_{2л}$ следует принимать даже при классических рекомендациях в пределах $35-45^\circ$ или даже превышать эти значения. Поэтому и оптимальное число лопастей для такого рабочего колеса следует повышать до $z=8-9$ или же применять двух или даже трехъярусные лопастные решетки.

6. Распространенная рекомендация обеспечивать на входе в рабочее колесо бесциркуляционный вход ($\bar{\Gamma}_1=0$) при указанных соотношениях V_u и V_m приводит к весьма малым углам β_1 и, как следствие, к большому углу охвата лопасти θ и малым углам β_2 , что противоречит ранее обусловленным рекомендациям. Поэтому на входе в рабочее колесо следует либо соглашаться с большими углами атаки, либо обеспечивать положительную подкрутку потока (либо комбинацию этих двух мер).

7. Ввиду малого значения V_{m1}/V_{u1} повышается опасность образования торового вихря и связанной с ним мощности гидравлического торможения даже на расчетных режимах.

8. Малое значение относительной скорости W в межлопастном канале создает возможность появления обратных токов на рабочей стороне лопасти. Противопоставить этому вредному явлению можно применение лопастей рабочего колеса непостоянной толщины, как это принято в классических лопастных насосных решетках, а утолщенных в средней части лопастей переменной толщины.

9. При проектировании ступеней низкой быстроходности следует принимать во внимание тот факт, что низкая экономичность такой ступени обуславливается большими относительными потерями всех трех категорий - гидравлических, механических и объемных. Поэтому получить ступень с низкой быстроходностью и приемлемой экономичностью можно только путем концентрации в одной ступени всех возможных мер по снижению всех видов потерь.

ОСНОВНЫЕ НЕТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАПОРНОСТИ СТУПЕНИ НИЗКОЙ БЫСТРОХОДНОСТИ

Исходя из вышеизложенных особенностей рабочего процесса ступеней низкой быстроходности и придерживаясь принятой логики приближения величины действительного напора к теоретически возможному значению $H_{m\infty}$, наметим следующие целесообразные и возможные нетрадиционные пути повышения энергоёмкости ступени низкой быстроходности.

1. Применение двух- и трехъярусных лопастных решеток в рабочем колесе с различным числом лопастей, их длин l_1 , l_2 и l_3 , радиусов расположения входных кромок, углов выхода $\beta_{2л}$ и с различным расположением лопастей по шагу.

2. Применение в одноярусной решетке щелевых лопастей с различными геометрическими размерами, местами расположения и углами установки для управления пограничным слоем и вторичными течениями на поверхностях лопастей.

3. Применение одноярусной решетки с увеличенными углами выхода $\beta_{2л}$ и увеличенным числом лопастей.

4. Применение различных вариантов затылок выходных кромок лопастей со стороны тыльной поверхности, основного или покрывающего дисков с целью уменьшения отклонения потока, повышения величины осредненной циркуляции Γ_2 и лучшего согласования потока со входом в отводящий аппарат.

5. Использование утолщенных в средней части лопастей переменной толщины.

6. Применение лопастей с двоякой кривизной для лучших возможностей варьирования углами $\beta_{1л}$ и $\beta_{2л}$.

7. К вышеуказанным способам повышения напорности ступени центробежного насоса (в т.ч. и низкой быстроходности) следует отнести и более радикальные пути решения этой задачи, такие, как использование в одной ступени так называемого «комбинированного рабочего процесса» (например, лопастного и вихревого), использование дополнительной центростремительной лопастной решетки, отрицательной закрутки потока на входе в рабочее колесо, а также применение контрроторности (вращение в обратную сторону лопаточного отвода).

ВЫВОДЫ

Приведенный анализ показал, что при создании ступеней центробежных насосов с рабочими органами низкой (n_s порядка 40-50) и сверхнизкой (n_s порядка 20-30 и ниже) быстроходности имеется немало

нетрадиционных путей повышения их эффективности по сравнению с широко применяемыми традиционными рекомендациями.

Прежде всего следует при создании рабочих органов таких насосов тщательно учитывать особенности рабочего процесса и кинематики потока в ступенях и целенаправленно влиять на конкретные отрицательные проявления этих особенностей.

Многочисленные, хотя и разрозненные и часто недостаточно глубоко исследованные нетрадиционные способы повышения напорности позволяют делать вывод о возможности рекомендации их для более широкого применения.

СТУПІНЬ НИЗЬКОЇ ПИТОМОЇ ШВИДКОХІДНОСТІ: ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ, НЕТРАДИЦІЙНІ СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАПІРНОСТІ

І. А. Ковальов, канд. техн. наук, професор,

А. В. Ратушний, аспірант,

Сумський державний університет, м. Суми

У роботі обґрунтовується необхідність проведення досліджень і створення ступеня відцентрового насоса низької питомої швидкохідності на основі нетрадиційних підходів до проектування. Розглянуті такі способи на основі аналізу робочого процесу подібного ступеня.

Ключові слова: *низька швидкохідність, робочий процес, нетрадиційні підходи, енергоємність, напірність.*

A STAGE OF LOW SPECIFIC SPEED; FEATURES OF WORKING PROSESS, NONCONVENTIONAL WAYS OF RISING PRESSURE

I. A. Kovalev, A. V. Ratushnyi

Sumy State Universit, Sumy, Ukraine

E-mail: ratushny@pgm.sumdu.edu.ua

In this paper, the necessity of research and creation of the stage of the centrifugal pump of low specific agility through innovative approaches to design are under review. Such methods are considered by analyzing a workflow of a similar stage.

Key words: *low specific speed, workfng process, nonconventional approaches, energy intensity, pressure.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Материалы V Международной конференции «СИНТ'09». – Воронеж: Научная книга, 2009. – 356 с.
2. Синенко Ю. И. К вопросу снижения потерь в рабочем колесе низкой быстроходности // Труды ВИГМ. – 1963. – Вып. XXXII.
3. Влияние на КПД центробежных насосов коэффициента быстроходности и размеров насосов // Сб. трудов лаборатории проблем быстроходных машин и механизмов.
4. Малюшенко В. В. Исследование влияния конструктивных параметров на характеристики малорасходной ступени питательного насоса : диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Харьков, 1964.
5. Ковалев И. А. Исследование путей повышения экономичности ступени центробежного насоса низкой удельной быстроходности ($n_s = 40$) : диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. - Харьков, 1970.
6. Головин В. А. Исследование ступеней центробежных секционных насосов низкой быстроходности ($n_s=40$) с целью повышения экономичности и уточнения методики расчета : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Сумы, 1972. - 160 с.

Поступила в редакцию 23 октября 2012 г.