

7. Федотова Н.А. Взаємоз'язок форми меридіанної проекції робочого колеса лопаткового насоса і момента швидкості потоку перед ним. Автореф дис. канд. техн. наук. 05.05.17/ Федотова Н.А. – Сумы, 2009 – 20 с.
8. Гидравлические турбины. Барлит В.В. – Киев: «Вища школа», 1977 – 360 с.

УДК 621.65

АКТУАЛЬНОСТЬ И ПУТИ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДВОДЯЩИХ УСТРОЙСТВ ДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСОВ

М.В. Карапузова

Аспирант

Сумской государственной университет

Контактный тел.: 067-990-99-64

ул. Римского-Корсакова 2, г. Сумы, Украина, 40007

E-mail: marivl@ukr.net

Запропонований блоково-модульний підхід до створення проточної частини динамічного насоса. Основне завдання – забезпечення прийнятної структури перебігу за окремими елементами проточної частини (модулями). У роботі приділена увага підводу і забезпеченню на вході в робоче колесо необхідної структури потоку

Ключові слова: насос, робоче колесо, напрямний апарат

Предложен блочно-модульный подход к созданию проточной части динамического насоса. Основная задача – обеспечение приемлемой структуры течения за отдельными элементами проточной части (модулями). В работе уделено внимание подводу и обеспечению на входе в рабочее колесо требуемой структуры потока

Ключевые слова: насос, рабочее колесо, направляющий аппарат

The block-module approach is offered for creation of hydraulic part of dynamic pumps. The main aim is to provide allowable flow structure after the separate hydraulic elements (modules). In the article a significant attention is given to the inlet supply and providing required flow structure at the impeller inlet

Keywords: pump, impeller, guide vanes

1. Введение

Подвод является одним из элементов проточной части лопатного насоса, которым в значительной степени определяется его гидравлические и антикавитационные качества, металлоемкость, массогабаритные характеристики.

Конструкция подводов оказывает значительное влияние на распределение скоростей перед входом в колесо. Вследствие этого структура и состояние потока за подводом отражаются на к.п. д. и характеристиках насоса.

Все боковые подводы характеризуются той или иной степенью окружной неравномерности потока на выходе. Задачи, стоящие перед насосостроением по повышению качества и надежности мощных высокообо-

ротных энергетических насосов, требуют разработки бокового подвода, формирующего малую неравномерность потока на выходе при его габаритных размерах, соразмерных с габаритными размерами собственно проточных частей насосов.

Требование снижения неравномерности потока на выходе из бокового подвода при одновременном уменьшении его габаритных размеров является противоречивым [1].

2. Анализ предыдущих исследований

В работе [2] детально рассмотренный вопрос влияния структуры течения на значение гидравлического КПД проточной части (ПЧ) насоса. Однако только

снижением его значения проблема не является исчерпанной. Происходит взаимное влияние элементов ПЧ насоса на характеристики одного на другого через сформированную структуру течения между ними. Существует ряд примеров [3], которые позволяют сделать вывод, что структура течения в ПЧ насоса имеет весомое влияние на всю совокупность показателей его эксплуатационных качеств - энергетические и антикавитационные, вибрационные и шумовые характеристики, надежность в работе и срок службы насоса в целом.

Изменение параметров течения потока за тем или другим элементом требует внесения изменений в его геометрию. Улучшая по этому пути эксплуатационные показатели качества работы насосов, мы ухудшаем другую группу показателей качества - производственно-технологическую: рост себестоимости изготовления, ухудшение технологичности и ремонтпригодности создаваемых изделий.

Остановимся на вопросе относительно реализации принципа блочно-модульного проектирования динамических насосов. Предложение [4] расширить блочно-модульный подход непосредственно на базовый функциональный центр насосов – ПЧ -принципиально новый элемент.

3. Актуальность темы

На основании проведенного анализа определено, что перспективным путем усовершенствования лопастных насосов является согласование элементов их проточных частей путем учета существующей и формирования заранее заданной структуры течения между ними. Задача актуальная для сегодняшней практики насосостроения, и решение ее является полезным и практически значимым.

4. Цель и задачи исследования

Целью исследования является выделение подвода динамического насоса в отдельный модуль. При этом решается задача определения действительной структуры потока за подводом, а также задача создания требуемой структуры течения на входе в РК, формируемой данным подводом.

Материалы и результаты исследования

Задача учета действительной структуры течения в ПЧ насоса, в первую очередь на участках «выход из подвода - вход в РК» (участок I) и «выход из РК - вход в отвод» (участок II) довольно сложная и многогранная. По сути мы имеем сосредоточение наиболее актуальных и мало исследованных вопросов на пути дальнейшего усовершенствования ПЧ. Единого возможного решения задачи, очевидно, не существует.

Относительно проблем, связанных с участком I, среди исходных сведений полезным по нашему мнению есть следующий круг отдельных сведений и соображений. Стандартное формулирование функций, выполнение которых должен обеспечить подвод насоса, включает в себя: обеспечение необходимой (целесообразной, рациональной) структуры течения на входе в РК. К сожалению, в литературе отсутству-

ет сколько-нибудь приемлемое толкование общепотребительного определения понятия «необходимая структура». Которой же на самом деле она должна быть на выходе из подвода? Общие рекомендации [5] сводятся к следующему. При проектировании входного участка лопатей РК принимается условие $V_{m1}(r) = \text{const}$ - так называемый равноскоростной поток. При условии наличия момента скорости потока перед колесом дополнительно вводится условие $(r_1 V_{u1}) = \text{const}$, где $(d_{\text{вр}}/2) \leq r_1 \leq (D_1/2)$, V_{u1} - окружная составляющая абсолютной скорости потока во входной воронке РК. Указанные рекомендации являются обоснованными в случае использования модели идеальной жидкости. Действительная картина изменяется под влиянием вязкости жидкости, которая перекачивается насосом. Относительно влияния вязкости на форму эпюры $V_{m1} = f(r_1)$ существуют эмпирически проверенные рекомендации относительно выбора углов атаки при проектировании входного участка лопастей РК [6, 7]. Возвращаясь к требованию – «формировать необходимую структуру течения подводом» – укажем, что по умолчанию, имеется ввиду обеспечение отсутствия окружной неравномерности абсолютной скорости потока и условия $V_r = 0$, где V_r – радиальная составляющая последней. Более детально, включая получение количественного критерия оптимизации структуры течения за подводом, данный вопрос рассмотрен в работе [8]. Остановимся еще на одном аспекте проблемы. Неупорядоченная надлежащим образом структура потока за подводом в процессе движения постепенно переходит в нужную благоустроенную под влиянием вязкости жидкости. Однако необходимое в этом случае расстояние от выхода из подвода к входу в РК приводит к неприемлемо большим габаритам разрабатываемого насоса. Эффективным путем сокращения указанного расстояния при одновременном решении задачи уменьшения круговой неравномерности абсолютной скорости потока перед РК есть закрутка потока подводом. Вместе с тем внешняя простота данного подхода к решению задачи не должна восприниматься проектантами насосов буквально – закрутка потока в неподвижных элементах ПЧ является фактором, который имеет определяющее влияние на всю гидродинамическую составляющую рабочего процесса насоса [9]. Реальным в данном случае может быть и второй подход - расчетным путем [10, 11, 12, 13] определить действительную структуру потока за подводом и, используя соответствующие критерии оптимизации [8], решать задачу оптимизации - поиск компромисса между массогабаритными показателями подвода и степенью влияния на показатели качества работы насоса сформированной данным подводом структуры течения на входе в РК.

Одним из путей решения данного вопроса является применение комбинированного подвода – кольцевого подвода (как наиболее технологичного и имеющего хорошие массогабаритные характеристики) и так называемой «решетки», которая будет создавать определенную закрутку потока на выходе из подводящего устройства.

Однако, кроме проблем, связанных с нестационарным обтеканием лопастей РК, для РК высокой

быстроходности [14] особенно важно наличие по возможности максимально равномерного потока на выходе из подвода. Окружная неравномерность распределения осевых скоростей на входе в РК, приводит к снижению напора до 40%, что не позволяет достичь расчетных параметров даже при правильно спроектированном РК.

Проведенный критериальный анализ [15] на основе использования совокупности четырех критериальных параметров подводов (характеристическая совокупность, параметров: m – безразмерный коэффициент момента скорости, l – габаритный коэффициент, s – коэффициент окружной неравномерности потока, ζ – коэффициент потерь энергии потока) позволил установить однозначную связь между величинами соответствующих коэффициентов в их совокупности и типами существующих подводов турбомашин.

Качественный анализ взаимовлияний критериальных параметров с учетом уравнения закона сохранения энергии позволил объединить их структурно-функциональной связью [15]:

$$\xi_0 = n_n \frac{(1 + \varphi^2 m^2)(1 + S^2)}{l^4}, \quad (1)$$

где n_n – экспериментальный коэффициент подвода;

φ – числовой коэффициент, зависящий от втулочного отношения.

По результатам испытаний можно отметить, что при увеличении неравномерности потока на выходе из подвода на 4% /т.е. изменении s в пределах 0,108...0,112/, относительный КПД насоса уменьшился на 2%, $C_{кр}$ – на 9%, а относительное виброускорение возросло на 70...80% по всем координатным направлениям. Кроме того, оптимальный режим работы по подаче увеличился на 5%. Теоретический анализ возможности смещения оптимального режима работы по подаче позволяет сделать вывод, что оно возможно в любую сторону и зависит от согласованности элементов проточной части и формы характеристик потерь энергии в каждом элементе [1].

Рассмотрим подвод насоса как обычное гидравлическое сопротивление той или другой конструктивной формы. При этом как относительно простую часть задачи можно выделить вопрос о гидравлических потерях на трение.

При известной геометрии потери на трение в подводе могут быть приближенно определены с использованием известных данных [16], или даже ими можно пренебречь. Например, в наиболее чувствительном в этом отношении насосе высокой быстроходности, при подводе наиболее сложной из известных конструктивных форм – радиально-осевом направляющем аппарате – потери на трение в нем оцениваются величиной до 1% от общего уровня гидравлических потерь в насосе [17].

Аналогично потерям на трение можно пренебречь потерями в подводе, которые имеются в следствие диссипации механической энергии при движении вязкой жидкости [18]. В конечном итоге это необратимый процесс перехода механической энергии жидкости у тепловую – использование подводов с ощутимым про-

теканием данного процесса в практике насосостроения отсутствует.

С учетом вышеуказанного, к насосам возможно применить модель идеальной жидкости. Задача расчета подвода сводится к определению его геометрии, которая обеспечит при известной (в общем случае – произвольной) структуре потока во входном сечении формирования нужной структуры потока в его выходном сечении.

Такая постановка требует решения пространственной задачи.

Математическое моделирование пространственных течений идеальной несжимаемой жидкости в прикладной гидроаэромеханике является довольно отработанной задачей. Наиболее известные ее реализации в линейной и нелинейной постановке, которые основаны на методе дискретных гидродинамических особенностей [19]. Безусловно, в данном случае речь не идет о возможности прямого использования этих реализаций. Принципиально важным есть вопрос о возможности отказа от гипотезы о потенциальности течения во всей расчетной области. Другими словами, задачу переноса на наш объект исследования такой математической модели и создание ее программной реализации можно оценить как довольно сложную, но разрешимую. Вместе с тем, ее непосредственное решение возможно после правильного формулирования граничных условий и определение наиболее целесообразных алгоритмов ее решения.

Установленным фактом [6] есть формирования на выходе из подвода, который рассматривается, эпюры распределения $V_m(r)$ в виде логарифмического профиля скоростей, близкого к тому, о котором шла речь выше относительно входного сечения подвода. Принципиально важным моментом в данном случае есть сохранения данной функции распределения $V_m(r)$ как для не закрученных, так и для закрученных (с разной величиной m) потоков в исходном сечении подводов с проходной втулкой и без нее.

При рассмотрении вопроса о радиальной неравномерности меридианной составляющей, отметим, что ставить задачу обеспечения подводом выполнения условия $V_m(r) = \text{const}$ нецелесообразно. Во-первых, изменение логарифмического распределения расходной скорости $V_m(r)$ возможно только путем искусственного уменьшения энергии потока в направлении от периферии до втулки, и на указанную величину изменения энергии возрастет уровень гидравлических потерь в подводе. Во-вторых, наличие логарифмического профиля скоростей $V_m(r)$ может быть учтено при профилировании рабочего колеса и к возникновению дополнительных потерь энергии в нем не приведет.

5. Выводы

Опираясь на развитие технологии машиностроения и сознавая важность проблемы решения задачи оптимизации массо-габаритных характеристик и энергосбережения констатируем – реализация данного подхода есть актуальной и практически значимой задачей.

Литература

1. Вертячих А. В. Влияние неравномерности потока, формируемого боковым подводом, на энергокавитационные и виброшумовые характеристики лопастных насосов повышенной быстроходности / Вертячих А. В., Стеценко А. А., Шкарбуль С. Н. // Гідравлічні машини і гідропневмоагрегати: теорія, розрахунок, конструювання / Темат. зб. наук праць / За ред. І.О. Ковальова - К.; ІСДО, 1994 - с 128-141.
2. Неня А. В. Особенности рабочего процесса промежуточной степени центробежного насоса: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук., спец. 05.05.17 - гидравлические машины и гидропневмоагрегаты, Сумы, 2009.
3. Ржебаев Э. Э. Питательные насосы для АЭС / Ржебаев Э.Е., Жуков В. М., Евтушенко А. А. // Теплоэнергетика. – Г.: М, 1977. – № 12. – с. 35-39.
4. Евтушенко А.А. Научно-техническое обеспечение новой концепции развития насосостроения в Украине / А. А. Евтушенко // Работы Междунар.науч.-техн. конф. «Прогрессивная техника, технология машиностроения, приборостроения и сварочного производства». – К.: НТУУ «КПИ»: Машиностроение – 1998. – Т. III. – С. 244 - 248.
5. Михайлов А. Н. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления / А.Н. Михайлов, В.В. Малюшенко – М.: Машиностроение, 1971. - 304 с.
6. Евтушенко А. А. Характер распределения меридианных скоростей на выходе из подводных устройств насосов с проходным валом / А. А. Евтушенко, С. Г. Сапунов // СБ «Гидродинамика больших скоростей» – Красноярск: КПИ. – 1982. – с. 101 - 108.
7. Евтушенко А. А. Определение реальных эпюр распределения составляющих абсолютной скорости потока перед рабочим колесом насоса на стадии его проектирования / А. А. Евтушенко, Н. А. Федотова // Вестник НТУ «ХПИ»: Технологии в машиностроении. – 2001. – Вып.129. – с. 343 - 351.
8. Евтушенко А. О. Вихідні данні для розрахунку течії в підводному пристрої лопатевого насосу/ А. О. Євтушенко // Вестник НТУУ «КПИ»: серия «Машиностроение»-Киев, 1994;-вып. 35. – с. 198 - 204.
9. Евтушенко А. А. Использование циркуляционных потоков для улучшения массогабаритных показателей лопастных насосов / А. А. Евтушенко [редкол.: Ю. М. Мацевитий (відп. ред) и др.] // сб. научн.тр. «Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования»: – Харьков: ППМаш НАН Украины. - 2000. - с. 428 - 433.
10. Евтушенко А. А. Задача создания средств ведения расчетного эксперимента в насосостроении / А. А. Евтушенко// Гидроаэромеханика в инженерной практике: работы II Республиканской научно-технической конференции – Черкассы: ЧПТ. – 1998. – с. 45 - 50.
11. Евтушенко А. А. Математические модели для создания средств ведения расчетного эксперимента в насосостроении / А. А. Евтушенко, В. Г. Неня // Физико-технические и технологические приложения математического моделирования : сб. научн. тр. НАН Украины, Ин-т математики. – К, 1998. – с. 93 - 96.
12. Баранова И. В. Выбор начальных данных для расчета обтекания элементов проточной части гидромашин пространственным потоком / И.В. Баранова, А. А. Евтушенко, В. Г. Неня // Вестник НТУУ «КПИ»: Сумы, Ризоцентр, 2000. – серия «Машиностроение», т. 2, Вып. 38. – с. 3 - 7.
13. Алексенко О. В. Расчетный эксперимент при обработке проточных частей турбомашин – состояние и перспективы развития / О. В. Алексенко, А. Н. Кочевский, В. Г. Неня // Вестник СумГУ серия «Технические науки» – Сумы: СумДУ, 2004. – № 13 (72). – с. 29 - 33.
14. Айзенштейн М. Л. Центробежные насосы для нефтяной промышленности., Гостехиздат, 1957, 363 с.
15. Вертячих А. В. Исследование и разработка малогабаритных боковых подводов с малой неравномерностью и требуемым моментом скорости для лопастных насосов: дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук.: спец. 05.04.13 «Гидравлические машины, машины и аппараты холодильной и криогенной техники» А. В. Вертячих. - Ленинград, 1982.
16. Идельчик И. Э. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Г., Машиностроение, 1975, с.559 - 560.
17. Гусак А. Г. Совершенствование проточных частей погружных моноблочных насосных агрегатов высокой быстроходности. Автореферат, дис. канд.техн.наук. Сумы, СумГУ, 1997, с. 23
18. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: Учебник для 6-вузов., 6-е изд., перераб. и доп. Г.: Наука, Гл.ред.физ.-мат. лит. 1977, 840 с.
19. Белоцерковский С. М., Гиневский А. С. Моделирование турбулентных струй и следов на основе метода дискретных вихрей. Г.: Физ.мат.лит, 1995., 368 с.