

На правах рукописи

Кхин Маунг Эй
(Союз Мьянма)

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОСЕВОГО НАСОСА
С РЕГУЛИРУЕМЫМ НАПРАВЛЯЮЩИМ АППАРАТОМ
НА ВХОДЕ РАБОЧЕГО КОЛЕСА**

специальность 05.04.13.- Гидравлические машины
и гидропневмоагрегаты

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 2006

Работа выполнена в Московском государственном техническом
университете им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент Козлов Станислав Николаевич

официальные оппоненты:

ведущее предприятие:

защита диссертации состоится _____ 2005 г. В _____ час.
_____ мин. На заседании диссертационного совета Д. _____ при
Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана
по адресу: 107005, Москва, Лефортовская набережная, д.1., корпус
Факультета « _____ »

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана

Автореферат разослан «__ __» _____ 2006 г.

Желающие присутствовать на защите должны заблаговременно известить
Совет письмами заинтересованных организаций на имя председателя
Совета.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета Д.212.141.
кандидат технических наук,

Глухов С.Д.

1. Актуальность работы

Осевые насосы широко применяются в системах охлаждения тепловых и атомных электростанций, в мелиорации и ирригации, осушении и обводнении. В общем случае конструкция осевых насосов состоит из рабочего колеса, выправляющего аппарата и диффузора. Изменение режимов работы системы обеспечивается изменением характеристик рабочего колеса путем поворота его лопастей. Для этого применяются сложные механизмы, которые обеспечивают поворот вращающихся лопастей осевого насоса с помощью дополнительных приводов и устройств. Одним из недостатков существующих конструкций осевых насосов является ненадежность механизма поворота лопастей. Довольно часто при эксплуатации осевых насосов лопасти рабочего колеса приваривают с целю повышения надежности. Кроме этого, работа на малых расходах сопровождается резкими колебаниями напора, подачи и мощности со значительными вибрацией и шумом.

Совершенствование напорных систем, разработка новых методов транспортировки жидкости и новых источников водоснабжения, поставили задачу разработки новых более простых, доступных для широкого применения и в тоже время более совершенных насосов. Как альтернатива стали разрабатываться насосы с регулируемым направляющим аппаратом (РНА), которые имеют ряд преимуществ: значительная простота конструкции, привода и управления, а значит высокая надежность и долговечность в работе, низкая стоимость. Однако, имеется ряд причин, которые ограничивают применение в настоящее время осевых насосов с РНА и они требуют дальнейшего исследования.

Поэтому разработка насосного агрегата с РНА является актуальной задачей, позволяющей значительно сократить проектировочные, монтажные и эксплуатационные расходы осевых насосов различного назначения. Устранение или уменьшение отмеченных конструктивных и эксплуатационных недостатков в существующих конструкциях осевых насосов является задачей актуальной.

2. Цель работы

В предлагаемой работе рассматривается конструкция осевого насоса, у которого на входе в насос установлен регулируемый направляющий аппарат (РНА), при этом рабочее колесо вращается навстречу потоку, выходящему из направляющего аппарата. Выходящий поток из рабочего колеса имеет преимущественно осевое направление. В связи с этим выправляющий аппарат на выходе из рабочего колеса осевого насоса не устанавливается.

Такая конструкция повышает надежность осевых насосов, уменьшает вес и габариты. Осевое колесо имеет жестко закрепленные лопасти, выправляющий аппарат отсутствует. Регулирование характеристики такого осевого насоса осуществляется лопатками направляющего аппарата на входе в рабочее колесо осевого насоса.

Целью работы является разработка и исследование осевого насоса с регулируемым направляющим аппаратом на входе.

3. Основные задачи

Для создания осевого насоса нового типа, конструкция которого была бы более надежной, менее сложной и дорогостоящей по сравнению с ныне существующими конструкциями; необходимо решить следующие задачи:

- выполнить теоретическое исследование расчета характеристики нового осевого насоса с углом лопаток направляющего аппарата $\alpha_{НА} = -20^\circ, -40^\circ, -60^\circ$;
- разработать прогнозную характеристику исследуемого осевого насоса и математическую модель зависимости напора от угла лопасти РНА ($H = f(\alpha_{НА})$);
- провести, аналитический расчет теоретических характеристик на основе математической модели рабочего процесса осевого насоса;
- выполнить компьютерный расчет по программе CFX внешней характеристики кпд, мощности и кавитационных характеристик;
- разработать метод гидравлического расчета насоса по методу **Вознесенского-Пекина** и профилирование осевого насоса типа НР;
- разработать модель осевого насоса с регулирующим направляющим аппаратом на входе в насос;
- рассчитать кавитационные характеристики по данным компьютерных программ;

- провести экспериментальное определение напорной характеристики осевого насоса, у которого входной поток регулируется направляющим аппаратом на входе, выходной поток имеет преимущественно осевое направление;
- провести экспериментальное и теоретическое исследования характеристик осевого насоса на параметрах ОП-5 с целью получения исходных данных для расчета и определения степени согласования экспериментальных и теоретических результатов при применении разработанной методики для расчета конструкции осевого насоса с регулируемым направляющим аппаратом (ОРН).

4. Научная новизна

Научная новизна работы заключается в следующем:

- теоретически и экспериментально обоснована целесообразность применения насосов с регулируемым направляющим аппаратом на входе,
- разработаны математическая и физическая модели расчета прогнозных характеристик в осевых насосов с регулируемым направляющим аппаратом на входе,
- выполнены теоретические и экспериментальные исследования, позволяющие определить влияние основных параметров насосов на эксплуатационные характеристики,
- разработана методика проектирования высокоэффективных осевых насосов с регулируемым направляющим аппаратом на входе,
- разработан метод определения расчетные характеристик, осевого насоса основанного на зависимостях из работы Джавура,
- экспериментально подтверждены расчетные характеристики по методу Джавура и расчетному компьютерному пакету CFX.

5. Практическая значимость работы

На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны научные основы проектирования и инженерный метод расчета насосов с РНА.

Конструктивные решения, которые могут быть использованы в разработке высокоэффективных насосов с РНА различного назначения. Это позволит повысить надежность, уменьшить энергопотребление насосной установки и всего агрегата в целом.

На основе полученных результатов могут быть разработаны насосные системы разного назначения для ТЭЦ, АЭС, систем орошения и водоснабжения и многих других.

6. Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях:

1. Международной конференции «Современное состояние и перспективы развития гидромашиностроения в XXI веке», Санкт - Петербург, 2003.
2. VI научно - практической конференции «Студенческая весна - 2004», Москва, 2004.
3. Международной конференции «PVCEXP0' 2004», Москва, 2004.
4. Всероссийской студенческой научно-технической конференции, МЭИ, Москва, 2004.
5. Международной конференции «PVCEXP0' 2005», Москва, 2005.
6. Всероссийской студенческой научно-технической конференции, МГТУ, Москва, 2005.

7. Публикации.

По теме диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ.

8. Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы. Работа изложена на () страницах машинописного текста, иллюстрируется рисунками и () таблицами, расположенными на () страницах. Общий объем диссертационной работы составляет () страниц.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель, научная новизна, практическая ценность полученных результатов, названы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнены расчеты прогнозной характеристики осевого насоса тремя способами; метода дискретных вихрей, «струйного» метода, и решение системы уравнений Навье-Стокса.

В первой методе рассматривается потенциальное течение идеальной жидкости через осевую систему решеток.

Уравнение форма профиля (гладкий, тонкий)

$$x_i = x_i(t), \quad y_i = y_i(t), \quad -1 \leq t \leq 1$$

Допущения:

Течение потенциальное по гипотезе
Чаплыгина-Жуковского
метод дискретных вихрей СИУ

$$\sum_{j=1}^Z \int_{-1}^{+1} K_{i,j}(t,t') \gamma_j(t') dt' = f_i(t), \quad i = \overline{1,n} \quad -1 < t < 1$$

Ядро СИУ

$$K_{i,j}(t,t') = \frac{(y_i - y'_j) \frac{dy_i}{dt} + (x_i - x'_j) \frac{dx_i}{dt}}{r^2} \frac{ds'_j}{dt}$$

$$r^2 = (x_i - x'_j)^2 - (y_i - y'_j)^2$$

где i = число профиля, j = точек

Искомая СИУ

$$\gamma(t') = \omega(t) \psi(t'),$$

где $\omega(t) = (1-t)^\alpha (1+t)^\beta$; $\alpha, \beta = \pm 1/2$

удовлетворяющую условию

Чаплыгина-Жуковского $\alpha = -1/2, \beta = +1/2$

Справа часть

$$f_i(t) = -U_x \frac{dy_i}{dt} + U_y \frac{dx_i}{dt}$$

где U_x, U_y = компоненты скоростей внешнего
по отношению

$$[A_{jk}] \quad [\psi_k] = [F_j]$$

$\psi(t)$ = непрерывная функция

При этом используется модель идеальной жидкости и предположение потенциального течения. Лопатки и направляющий аппарат моделируются вихрями, по методу Чаплыгина - Жуковского. При записи условия локальной непроницаемости профилей решетки

рабочего колеса и направляющего аппарата получается система сингулярных интегральных уравнений (СИУ). Система сингулярных интегральных уравнений вида в методе дискретных вихрей рассматривается в конечном числе точек наблюдения t_k , при этом интегральный член аппроксимирует с помощью квадратурных формул на сетке t_j — точек расположения источников возмущения, — таким образом, решение искомой задачи сводится к решению блочно-матричной линейной системы алгебраических уравнений, не имеющих особенностей. Построение разностного аналога системы СИУ на основе Чебышевских полиномов позволяет создать расчетную сетку и описать функцию распределения плотности интенсивности вихрей $\gamma(t)$, естественным образом удовлетворяющую условию Чаплыгина-Жуковского об отсутствии особенности решения в точке схода потока с острой кромки ($t=1$).

Решение системы СИУ дает мгновенное и локальное распределение скоростей, что позволяет рассчитать распределение статического давления в области плоского течения идеальной жидкости с помощью уравнений Эйлера.

физическая модель статической зависимости $H = f(\alpha_{HA})$. Теоретический напор за вычетом суммарных потерь в каждой точке рабочей характеристики определяет действительные величины напора, развиваемого насосом. За тем определяется отрыв потока по расходу и напору.

Теоретическая величина напора может быть рассчитана следующим образом:

$$H_T = \frac{U}{g} \cdot \Delta C_u = \frac{U}{g} \cdot (C_{2u} - C_{1u}),$$

$$\text{где } \Delta C_u = \frac{2U \sin \beta_c - 2C_m \cdot [\cos \beta_c + \sin \beta_c \cdot \tan \alpha_{HA}]}{4t / 2\pi l + \sin \beta_c}$$

Следовательно,

$$H_T = \frac{U[2U \sin \beta_c - 2C_m (\cos \beta_c + \sin \beta_c \cdot \tan \alpha_{HA})]}{g[4t / 2\pi l + \sin \beta_c]}$$

Теоретический напор можно представить в виде зависимости

$$H_T = A - BQ,$$

$$\text{где } A = \frac{2U_m^2 \sin \beta_c}{g \cdot [4t / 2\pi l + \sin \beta_c]} ; B = \frac{2U_m K \cdot (\cos \beta_c + \sin \beta_c \cdot \tan \alpha_{HA})}{g \cdot [4t / 2\pi l + \sin \beta_c]}$$

$$C_m = K \cdot Q \quad K = 1/A_d$$

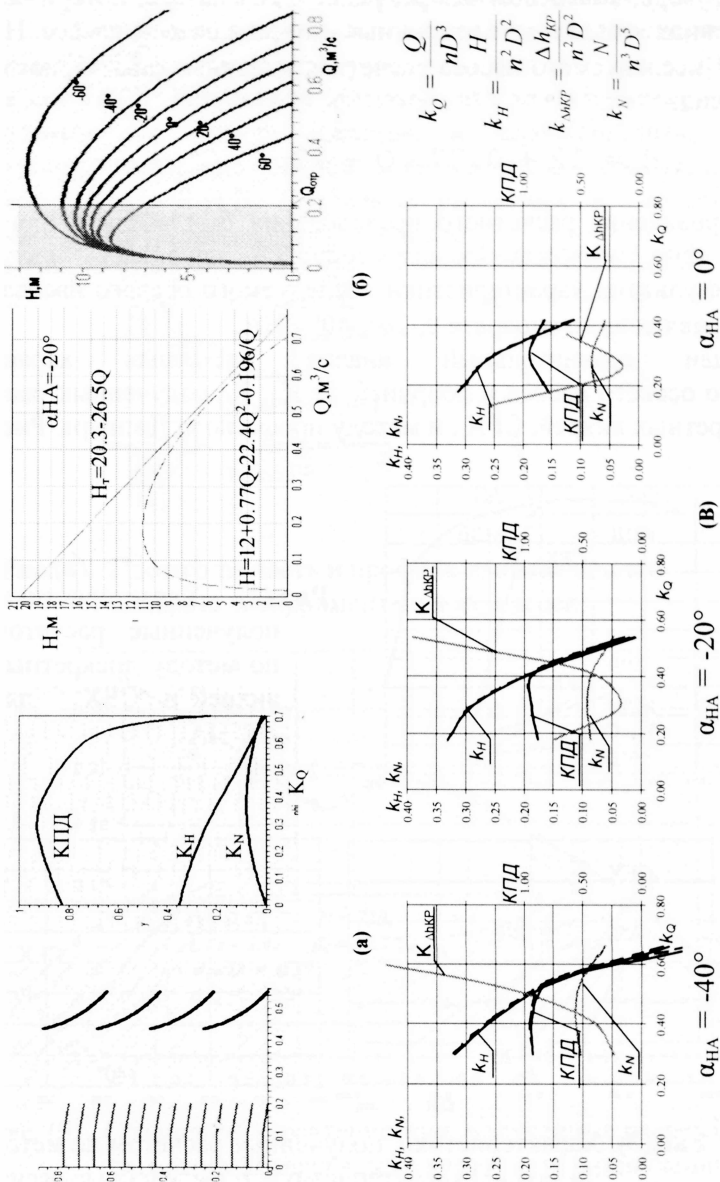


рис. 1. Характеристика насоса при различных углах α_{HA} установки направляющих лопаток полученные расчетом (а) по методу дискретных вихрей (б) по методу Джавура (в) по расчет, CFX-TASCflow

Предложенный метод расчета заключается в расчете потерь в рабочем колесе, диффузоре, кольцевом зазоре, радиальном зазоре, потери вследствие циркуляции жидкости, а также вторичные потери в осевом насосе. Например, для $\alpha_{НА} = -20^\circ$ исследуемого насоса расчетная напорная характеристика имеет следующий вид;

$$H = 12 + 0.77 \cdot Q - 22.4 \cdot Q^2 - \frac{0.196}{Q}$$

Для проведения расчетного исследования был выбран программный пакет CFX (<http://www-waterloo.ansys.com/cfx/>). на рис.(1) представлены расчетные результаты характеристики исследуемого осевого насоса по CFX для угла направляющего аппарата $0, -20^\circ, -40^\circ$ РНА.

Проведен сравнительный анализ расчетных характеристик исследуемого осевого насоса в координатах K_H, K_Q полученных расчетом по методу дискретных вихрей, CFX, и методу профессора Джавура. Рис.(2,3)

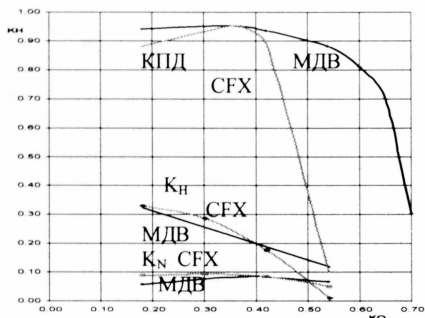


Рис.(2). Характеристики, полученные расчетом по методу дискретных вихрей и CFX для -20° НА

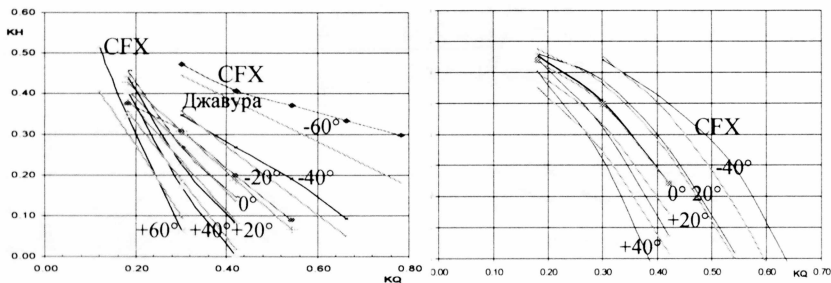


Рис.(3). Характеристики, полученные расчетом по методу Джавура и характеристики, определенные расчетом по компьютерному пакету CFX

В второй главе проводится сравнение результатов экспериментального исследования с расчетными результатами.

Экспериментальные исследования проведено на испытательном базе Сумского государственного университета, на опытном осевом насосе ОП5. Результаты показали, что характеристики, полученные расчетом по методу Джавура, и характеристики, полученные экспериментальным путем, практически совпадают в зоне наибольшего К.П.Д. Сравнение расчетных и экспериментальных характеристик представлено на рис.5.

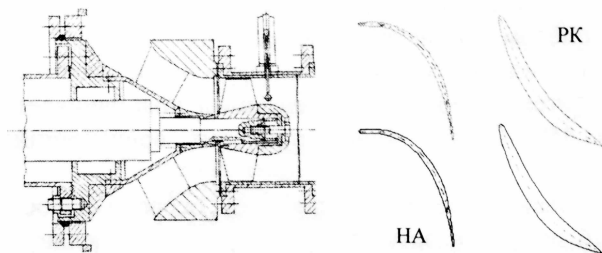


Рис.(4). Проточная часть и профиль направляющего аппарата экспериментального насоса

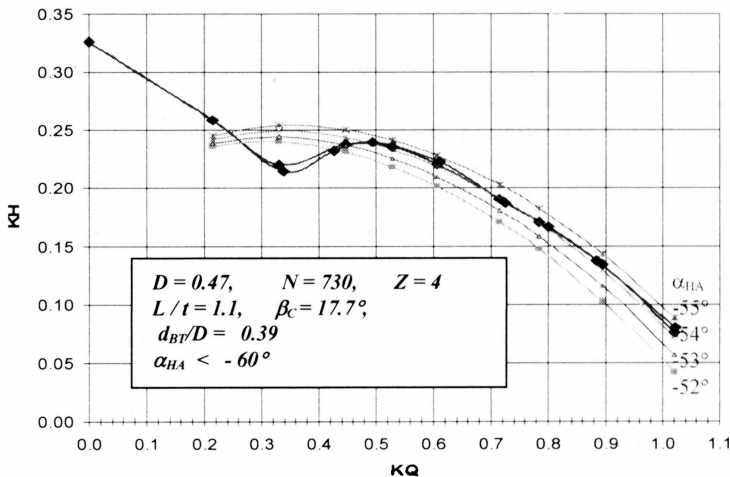


Рис. (5) . Сравнение характеристики, полученные расчетом по методу Джавура, и характеристики полученные экспериментальным путем

Третья глава посвящена основным разработкам проектирования и профилирования осевого насоса типа ОРН. Направляющий аппарат (рис. 6) образован 14 одинаковыми радиальными лопатками. Передняя часть лопатки неподвижна и параллельна оси насоса, а задняя может поворачиваться. При угле установки задней части лопатки равном 0° ее плоскость параллельна оси насоса, при угле установки $+20^\circ$, -40° лопатки перекрывают проточную часть.

Диаметр рабочего колеса исследуемого насоса – 470 мм. Рабочее колесо имеет 4 лопасти, спроектированные по методу Вознесенского – Пекина на условия осевого выхода и постоянства момента скорости потока перед рабочим колесом. Диаметр втулки рабочего колеса – 240 мм.

Отводящий канал содержит диффузорный участок, где диаметр канала увеличивается до 500 мм. Далее канал поворачивает поток по дуге окружности на 45° . Сквозь канал проходит вращающийся вал насоса диаметром 120 мм.

Профилированию решетки профилей осевого насоса предшествует предварительный расчет, в результате которого определяют или выбирают основные геометрические размеры и соотношения. По заданным параметрам насоса Q , H и n определяют величину n_s . Результаты, полученные при исследовании влияния момента скорости, можно представить в виде графиков, отображающих зависимости между подачей, расходом и моментом закрутки потока перед рабочим колесом.

Особенностью схемы лопастной системы типа ОРН является расположение РК за входным направляющим аппаратом. Направляющий аппарат обеспечивает подвод жидкости к РК и создает необходимый для обеспечения напора отрицательный момент скорости. Т.е. против вращения рабочего колеса. Если РК проектируется при условии $K_2=0$, то обеспечивается осевой выход потока из РК. На выходе из рабочего колеса ($K_2=0$), $K_Q=f(m)$ (см. рис. 8). При этом K_Q имеет следующие значения $K_Q = 0,66; 0,65; 0,637; 0,628$, которые соответствуют $m = -0,2; -0,25; -0,3; -0,325$. Тогда $K_{нт} = f(m, K_Q)$ из рис. (8) и получает следующие значения $K_{нт}=0,112; 0,137; 0,155; 0,175$. $m = K_1 D_{пр}/Q$, где m – безразмерный коэффициент момента скорости потока перед РК, $D_{пр}$ – приведенный диаметр, K_1 – момент скорости потока перед РК.

Как показали расчеты, при этой закрутке потока режим безударного входа, характеризующийся равенством минимальных пиков относительной скорости на тыльной и лицевой сторонах лопасти, имеет место при $K_Q = 0.637$.

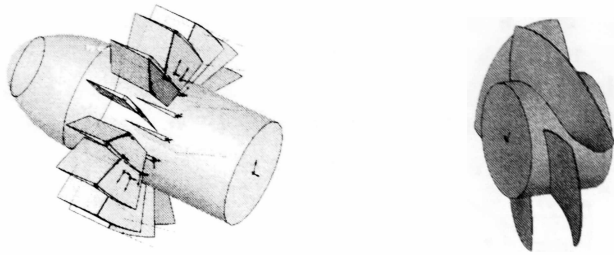


Рис.(6) – Направляющий аппарат с поворотными направляющими лопатками и рабочее колесо

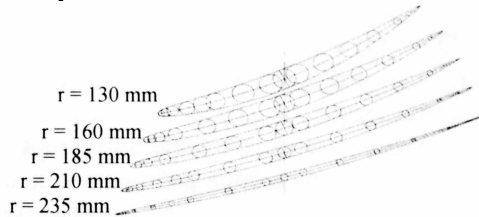


Рис.(7) – Профили лопасти рабочего колеса на различных радиусах

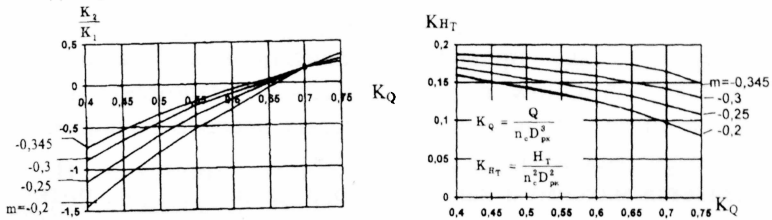


Рис.(8). Зависимость относительного момента скорости на выходе от момента скорости потока на входе и зависимость теоретического напора

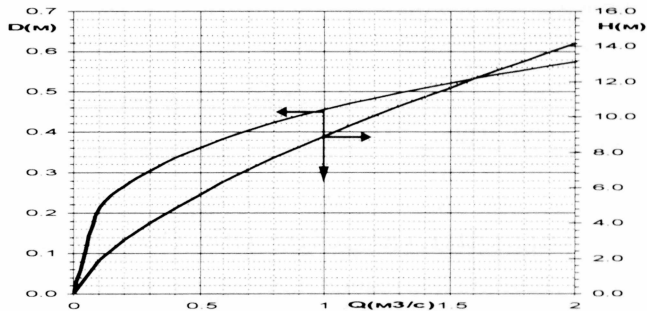


Рис. (9). Номограмма расчета осевого насоса типа НР
 $(H=f(Q), D=f(Q), K_Q=0.637; K_H=0.155; 1000 \text{ об/мин})$

Режим безударного входа потока на лопасти РК (без углов атаки) является, как известно, оптимальным режимом, при котором КПД принимает наибольшее значение.

При этом условии можно рассчитывать: $K_Q=0,637$; $K_2=0$; $m=-0,3$; $K_H=0,155$ для постоянного числа оборотов.

$$K_Q = \frac{Q}{n_c \cdot D^3} \quad ; \quad D = \left(\frac{60}{K_Q} \right)^{1/3} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad D = f(K_Q, n, Q)$$

$$K_H = \frac{H}{n_c^2 \cdot D^2} \quad ; \quad D = \frac{60}{\sqrt{K_Q}} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} \quad ; \quad D = f(K_H, n, H)$$

Для $K_Q = 0,637$, $K_H = 0,155$, $n = \text{const}$; определяются расчетные уравнения $D = f(Q)$ и $D = f(H)$. (см. рис. 9 . для $n = 1000$)

Рассматриваются теоретические предпосылки для расчета осевого колеса, геометрические и гидродинамические параметры профилей в решетке. Приведены энергетические характеристики решетки профилей, определение основных размеров рабочего колеса, гидравлический расчет, профилирование лопасти, расчет минимально допустимой густоты решеток профилей лопастей РК и расчет тонких и эквивалентных дужек лопастей РК.

В четвертой главе приведены кавитационные характеристики расчетом по CFX-TASCflow в осевых насосах. Изложены материалы влияния кавитации на характеристики осевых насосов с направляющим аппаратом на входе рабочего колеса. (рис.1.в)

Определяется максимум кавитационного запас 3 м при критическом значении кавитационного коэффициента быстроходности $C_{кр}=1000$. При этом условии насос может работать без кавитации при угле лопаток направляющего аппарата в диапазоне от 0° до -40° .

Определение рабочей зоны осевого насоса типа НР

Напор ≤ 15 м , $H = 5,8, 12,5$ м

Расход : $200 < Q \leq 2000$ м³/ч

$Q = 280, 400, 560, 800, 1100, 1600, 2200, 3200, 4500, 6300, 9000, 12500, 1800$ м³/ч

$n \text{ об/м} = 3000, 1500, 1000, 750$ об/м

$N = 11 \dots\dots\dots 1000$ Квт

$D = 140, 180, 220, 280, 360, 450, 560, 700, 880$

Модель ОП10, ОП2, ОП11, ОП5, ОП16, ОП6, OD10, OD2, OD29

$K_Q = 0,6$

$\eta_r = 92 \div 87$ % средние значения $\eta_{\text{max}} = 89 \div 90$ %

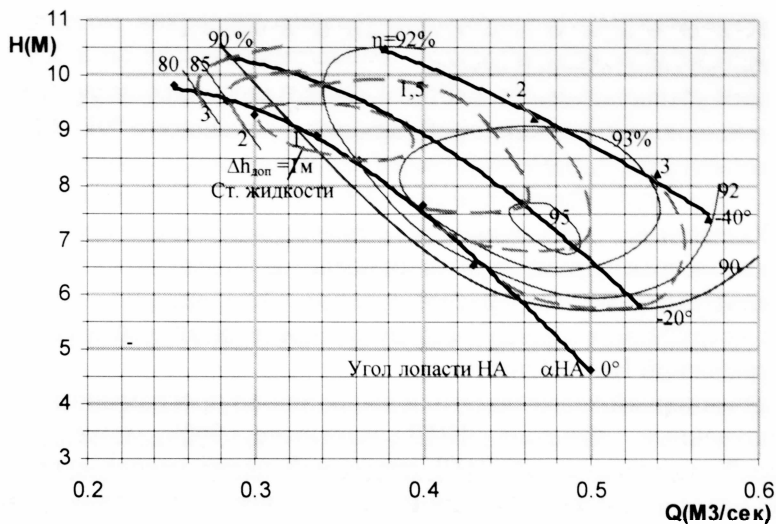


Рис. (10). Характеристика насоса ОРН – 47: $n = 730$ об/мин ; $D_{p.k} = 470$ мм

ВЫВОДЫ

В результате выполнения теоретических и экспериментальных работ сделаны следующие выводы:

1. практически доказана возможность создания регулируемого осевого насоса нового типа ОРН, состоящего из регулируемого направляющего аппарата, установленного на входе в рабочее колесо осевого насоса с жестко закрепленными лопастями, вращающимися в обратную сторону навстречу потоку, выходящему из направляющего аппарата. При этом выходящий поток направляется по оси насоса без выправляющего аппарата с участком диффузора на выходе.

2. Предложенная конструкция нового осевого насоса характеризуется следующими преимуществами:

- отсутствием поворотной лопастной системы рабочего колеса;
- высоким гидравлическим кпд;
- повышенной надежностью;

- широкой областью применения;
- отсутствием выправляющего аппарата на выходе;
- меньшими габаритами и весом;
- жестким установлением лопастей рабочего колеса;
- более широким диапазоном регулирования;
- простым управлением.

3. Указанные преимущества подтверждаются следующими теоретическими и экспериментальными исследованиями:

- выполнен теоретический расчет прогнозной характеристики по трем способам: «струйному» методу, методу дискретных вихрей и решением системы уравнений Навье-Стокса;

- расчет напорной характеристики выполнен по программному пакету CFX. полученные значения КПД не ниже 80%, максимальный достижимый гидравлический КПД проточной части насоса в широком диапазоне углов установки лопаток направляющего аппарата составляет, согласно расчету, около 94%;

- разработан математический аппарат расчета характеристики теоретического напора;

- по методу предложенному Джавуром метод заключается в расчете потерь в рабочем колесе, диффузоре, кольцевом зазоре, радиальном зазоре, вторичных потерь, а также потерь вследствие циркуляции жидкости;

- в методе дискретных вихрей решетки профилей моделируются вихрями в виде системы сингулярных интегральных уравнений, решетки которой позволяет рассчитать распределение статического давления;

- расчет кавитационной характеристики выполнен по программному пакету CFX. определен максимум кавитационного запаса 3 м при критическом значении кавитационного коэффициента быстроходности $SKR = 1000$. При этом условии насос может работать без кавитации при угле лопасти направляющего аппарата в диапазоне от 0° до -40° ;

- теоретические расчеты подтверждены практическими экспериментами и результатами компьютерного моделирования. в результате их проведения определена рабочая зона осевого насоса типа ОРН по параметрам: кавитационный запас $\Delta h_{доп}$ ($0,75\text{ м} \div 3\text{ м}$), кпд ($85\% \div 95\%$), напор H ($6\text{ м} \div 10\text{ м}$), расход Q ($0,21\text{ м}^3/\text{с} \div 0,54\text{ м}^3/\text{с}$), угол лопасти HA ($0^\circ \div -40^\circ$);

- расхождение результатов по напору, расходу и мощности, по расчетом вихревого дискретного метода и компьютерного пакета CFX и по экспериментальным исследованиям меньше чем 3% при угле установки лопатки РНА -20° а при угле установки лопаток РНА -40° отклонение показателей составляет 5%;

- сравнение напорной характеристики по результатам метода профессора Джавура и CFX компьютерный пакет для установки РНА с углом -40° составляет меньше чем 5%;

- сравнение результаты напорной характеристики по 3 указанным методам показало, что расхождение результатов при угле РНА -20° составляет отклонение меньше чем 5% .

4. В результате выполнения разработана методика расчета и проектирование осевого насоса нового типа НР.

Исследованы полученные экспериментальным путем напорные характеристики осевого насоса типа НР с диаметром (D) рабочего колеса 470 мм и частотой вращения (n) 730 об/мин.

Для получения теоретических результатов производился расчет по методу Джавура с использованием параметров насоса, установленного на стенде Сумского государственного университета. Это позволило построить теоретически рабочие напорные характеристики осевого насоса типа ОНР при разных углах лопасти направляющего аппарата ($\alpha_{НА}$) -52°, -53°, и т.д. Было установлено, что характеристики, полученные расчетом по методу Джавура, и характеристики, полученные экспериментальным путем, практически совпадают при угле лопасти направляющего аппарата -54°.

5. Результаты работы переданы на Калужский турбинный завод для разработки насосной установки с системой охлаждения аппаратуры железнодорожного транспорта.

По теме диссертации имеются следующие работы:

1. Маунг Кхин Эй, Казмиренко В.Ф., Козлов С.Н. Модель рабочих процессов осевых электронасосов с регулируемым направляющим аппаратом на входе // Труды МНТК. - Санкт-петербург, 2003. – С.105-107.
2. Маунг Кхин Эй, Козлов С.Н. Расчет течения в проточной части осевого насоса с поворотными направляющими лопатками // Насосы & оборудование: Отраслевой журнал (Киев). - 2004. -№5(28)– С.42-47.
3. Маунг Кхин Эй, Казмиренко В.Ф., Козлов С.Н. Осевой насос с входным направляющим аппаратом // Гидромашиностроение. Настоящее и будущее.: Тез. докл. МНТК - М., 2004. - С. 42.
4. Маунг Кхин Эй, Казмиренко В.Ф., Козлов С.Н. Характеристики осевого насоса с входным направляющим аппаратом // Гидравлические машины и гидроприводы и гидропневмоавтоматика.: Тез. докл. ВНТК - М., 2004. - С. 20.
5. Маунг Кхин Эй, Козлов С.Н. Расчет напорной характеристики осевого насоса с входным направляющим аппаратов // Насосы & оборудование: Отраслевой журнал (Киев). - 2005. - №2(31)-3(32) - С. 58-63.
6. Маунг Кхин Эй, Козлов С.Н., Макаров К.А. Расчет прогнозной характеристики осевого насоса с регулируемым направляющим аппаратом на входе // Насосы. Эффективность и Экология.: Тез. докл. МНТК - М., 2005. - С. 22-23.
7. Маунг Кхин Эй, Фомичев В.М. Регулирование системы нового типа осевого насоса с направляющими аппаратами на входе // Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: Тез. докл. ВНТК - М., 2005. - С. 25.
8. Maung Khin Aye, Kochevsky A.N., Kozlov S.N. Simulation of flow inside an axial-flow pump with adjustable guide vanes, ASME international symposium, - New York (USA), 2005. (CD copy).