

На правах рукописи

Чернышев Сергей Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ КАЧЕСТВ
ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РАБОЧЕГО ПОТОКА С ЭЛЕМЕНТАМИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ**

Специальность 05.04.13 – Гидравлические машины, гидропневмоагрегаты

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2008

Работа выполнена на кафедре Гидромеханики и гидравлических машин
Московского энергетического института (технического университета)

Научный руководитель: доктор технических наук
Волков Александр Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Караханьян Владимир Карпович

кандидат технических наук
Зотов Борис Николаевич

Ведущая организация: ЗАО «Помпа»

Защита диссертации состоится «11» июня 2008 г. в 14:00
в аудитории 314-Э на заседании диссертационного совета
Д 212.141.16 при Московском государственном техническом университете
им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Отзывы на автореферат диссертации (в двух экземплярах, заверенные
печатью учреждения) просьба направлять по адресу: 105005, Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ученому секретарю
диссертационного совета Д 212.141.16.

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

Автореферат разослан « » 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доц.

Колосов М.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Проблема роста дефицита электроэнергии, наблюдающегося в стране в настоящее время, наиболее эффективно может быть решена на основе развития энергосбережения. Снижение потерь энергии прежде всего достигается путем повышения эффективности ее использования. Насосное оборудование разнообразных технологических циклов является одним из наиболее значительных потребителей электроэнергии в промышленности. Реализация энергосберегающих мероприятий определяет необходимость повышения эксплуатационных качеств центробежных насосов, являющихся самым распространенным типом насосного оборудования. Такое направление обеспечивает реализацию федеральных и региональных программ по энергосбережению, основанных на Федеральном Законе №28 об энергосбережении.

По данным Федерального агентства по науке и инновациям РФ до 60 % резервов возможной экономии электроэнергии находится в сфере потребления. Таким образом, наряду с разработкой и созданием новых, более совершенных центробежных насосов, актуальность приобретает направление, связанное с их модернизацией. Причем модернизация может реализовываться как заменой элементов или узлов насоса, так и на основе придания новых свойств элементам насосных агрегатов.

Основой повышения эффективности центробежных насосов является совершенствование гидродинамических качеств проточной части, направленное на снижение потерь при передаче механической энергии рабочему потоку. Значительный интерес представляет реализация модификации, изменяющей гидродинамическое взаимодействие поверхностей элементов проточной части и рабочего потока без изменения конструкции насоса. Такой подход возможен на основе гидрофобизации обтекаемых поверхностей. Гидрофобизация обеспечивает снижение гидравлических потерь, в значительной степени влияющих на КПД центробежного насоса. Существенная доля гидравлических потерь, связанных с гидравлическим трением, формируется при течении в пределах рабочего колеса (РК), поверхности которого взаимодействуют с потоком в условиях наибольших скоростей обтекания. Гидрофобное покрытие способно дополнительно обеспечивать защиту поверхности от коррозионных процессов, повышая надежность при эксплуатации. Таким образом, изменение гидродинамического взаимодействия потока и элементов проточной части на основе гидрофобизации обтекаемых поверхностей обеспечивает повышение эффективности и надежности функционирования

центробежных насосов. Такая модернизация позволяет эксплуатирующим организациям осуществить реализацию программ по энергосбережению.

Цель работы заключается в экспериментальном и расчетно-теоретическом исследовании влияния изменения гидродинамического взаимодействия элементов проточной части посредством гидрофобизации обтекаемых поверхностей и рабочего потока на характеристики центробежных насосов.

Основными задачами работы являются:

- определение влияния гидрофобизации поверхностей РК при создании покрытий на основе поверхностно-активных ингибиторов коррозии (ПАИК) и на основе фторопласта на энергетические и кавитационные характеристики центробежных насосов;
- экспериментальные и расчетно-теоретические исследования влияния гидрофобизации обтекаемых поверхностей на гидродинамику в канонической области течения на примере обтекания пластины;
- расчетно-теоретические исследования гидродинамических качеств лопастной системы насоса типа КМ 65-50-160 с использованием 3D метода МЭИ;
- расширение 3D метода МЭИ по учету гидрофобности поверхностей при расчете вязкого течения в лопастной системе;
- оценка эффективности гидрофобизации поверхностей РК и стойкости покрытия на основе ПАИК в условиях эксплуатации на теплоэнергетическом объекте.

Методами исследования установлены: энергетические и кавитационные характеристики центробежного насоса при создании на поверхностях РК гидрофобного покрытия; изменение сопротивления пластины при гидрофобизации поверхностей, определяемое на основании теоремы импульсов; численное моделирование обтекания пластины с использованием комплекса «FlowVision»; численное моделирование вязкого течения в лопастной системе центробежного насоса с использованием 3D метода МЭИ; снижение энергопотребления при создании гидрофобного покрытия на поверхностях РК центробежного насоса в условиях эксплуатации.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- предложена методика повышения эксплуатационных качеств центробежных насосов на основе гидрофобизации поверхностей элементов проточной части с целью изменения гидродинамики в пристенной области турбулентного пограничного слоя;

- разработана методика формирования гидрофобных покрытий на основе ПАИК и с использованием фторопласта на поверхностях РК центробежных насосов;
- установлено влияние гидрофобного покрытия на основе ПАИК и на основе фторопласта на поверхностях РК на энергетические и кавитационные характеристики центробежных насосов, характеризующееся повышением эффективности и сохранением кавитационных качеств;
- показано снижение гидравлического сопротивления при гидрофобизации обтекаемых поверхностей в канонической области течения на примере обтекания пластины;
- установлено удовлетворительное согласование результатов численного моделирования обтекания пластины с использованием «FlowVision» и экспериментальных данных;
- осуществлено расширение 3D метода МЭИ по учету гидрофобности поверхностей путем коррекции профиля скоростей в пристенной области на основе проведенных экспериментальных и расчетно-теоретических исследований;
- получены данные об эффективности гидрофобизации поверхностей РК центробежных насосов в условиях эксплуатации, характеризующейся снижением энергопотребления, в ходе промышленного эксперимента на одном из центральных тепловых пунктов г. Москвы;
- подтверждена стойкость покрытия на основе ПАИК, созданного на поверхностях РК центробежного насоса, в условиях его непрерывной эксплуатации в течение длительного периода времени.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- проведены исследования влияния гидрофобных покрытий на основе ПАИК и на основе фторопласта на поверхностях РК на характеристики центробежных насосов, подтверждающие повышение КПД при сохранении кавитационных качеств;
- осуществлены исследования влияния гидрофобизации обтекаемых поверхностей на гидродинамику в канонической области течения на примере обтекания пластины, позволяющие переносить полученные результаты на другие области течения;
- осуществлены расчетно-теоретические исследования обтекания пластины для различных вариантов граничных условий с

использованием комплекса «FlowVision», проведено сопоставление с результатами физического эксперимента;

- осуществлено расширение 3D метода МЭИ по учету гидрофобности поверхностей, позволяющее прогнозировать эффективность такой модернизации на основании расчетно-теоретических исследований без проведения затратных экспериментальных исследований;
- в ходе промышленного эксперимента подтверждена стойкость гидрофобного покрытия на основе ПАИК в течение длительной эксплуатации.

Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов определяется:

- использованием апробированных методик планирования и проведения исследований, методик анализа экспериментальных результатов, применением средств измерений необходимой точности;
- удовлетворительной сходимостью результатов исследований при многократных повторениях;
- использованием апробированных пакетов расчетно-теоретических исследований гидродинамических процессов.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы использованы при модернизации центробежного насоса КМ 100-80-160, используемого для обеспечения холодного водоснабжения жилых домов, эксплуатирующегося на центральном тепловом пункте № 0812/110 (г. Москва, ул. Нагорная, д. 40) филиала №7 «Юго-Западный» ОАО «МОЭК».

Материалы диссертационной работы применены в учебном процессе кафедры ГГМ МЭИ (ТУ) в курсе «Гидрогазодинамика».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- заседаниях кафедры Гидромеханики и гидравлических машин МЭИ (ТУ), 2005 – 2008 гг.;
- Международной студенческой научно-технической конференции «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» 2005 и 2007 гг., Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- XII, XIII и XIV Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» 2006, 2007 и 2008 гг., Москва, МЭИ (ТУ);

- Международной научно-технической и научно-методической конференции «Гидрогазодинамика, гидравлические машины и гидропневмосистемы», Москва, МЭИ (ТУ), декабрь 2006 г.;
- Международной научно-технической конференции «ЕСОРУМР.RU'» 2006 и 2007 гг., Москва, КВЦ «Сокольники».

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 12 печатных трудов, из них в изданиях по перечню ВАК – 2 статьи.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 206 стр., имеет 65 рисунков и 27 таблиц, включает титульный лист, содержание, список основных условных обозначений, введение, 5 глав, заключение и список использованных источников (146 наименований).

Автор выражает глубокую благодарность сотрудникам кафедры ГГМ МЭИ (ТУ): профессору Г.М. Моргунову, доцентам А.И. Давыдову и С.Н. Панкратову за помощь в работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность диссертации, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе рассматриваются вопросы совершенствования насосного оборудования, соответствующие Федеральным и региональным законодательным актам по энергосбережению, а также политике Российской ассоциации производителей насосов.

Рассматриваются основные тенденции развития центробежных насосов, применяемых в различных отраслях промышленности. Отмечается, что в работах В.К. Караханьяна, Б.Н. Чумаченко, С.Н. Панкратова, И.Б. Твердохлеба и других ученых представлены направления развития и совершенствования центробежных насосов, основными из которых является повышение надежности, эффективности и экологической безопасности. Показано, что решение задач совершенствования достигается изменением конструктивных схем, применением перспективных материалов и технологических решений, улучшением элементов конструкции, использованием более совершенных гидродинамических методов анализа и синтеза лопастных систем.

Рассматриваются различные подходы повышения эффективности центробежных насосов, основным из которых является совершенствование проточной части. Показано, что в основе повышения эффективности

центробежных насосов лежит снижение потерь при передаче энергии потоку, значительная часть которых носит гидравлический характер и определяется потерями на гидравлическое трение и вихреобразование. Отмечается значительный вклад в развитие теории исследования и проектирования центробежных насосов, внесенный такими учеными как А.А. Ломакин, С.С. Руднев, А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко и др. Показано, что при проектировании проточной части центробежных насосов в настоящее время все шире применяются расчетно-теоретические методы исследования и моделирования гидродинамических процессов, вопросы развития которых отражены в работах Г.М. Моргунова, А.А. Жарковского, Г.В. Викторова и др.

Отмечается все большее значение модернизации при решении задач совершенствования насосного оборудования. Одним из перспективных направлений модернизации центробежных насосов является модификация поверхностей проточной части. Указывается распространение применения различных покрытий, обеспечивающих повышение стойкости поверхностей к коррозии, абразивному и эрозионному износу, а также различные методы снижения шероховатости, используемые рядом ведущих производителей насосного оборудования. Основные сложности при этом связаны с необходимостью использования специального оборудования и возможностью реализации лишь для определенного типа металлов и конструкций. Показана перспективность модернизации на основе модификации поверхностей проточной части в условиях эксплуатации.

Значительный интерес представляет модификация поверхности проточной части, изменяющая гидродинамическое взаимодействие элементов проточной части и рабочего потока при сохранении исходной геометрии, способная обеспечивать снижение потерь гидравлического трения. Изменение гидродинамического взаимодействия потока и поверхности происходит в пределах пограничного слоя, в котором формируется основная часть потерь энергии. Отмечается, что турбулентный пограничный слой, характерный для течения в проточных частях центробежных насосов, имеет сложную структуру, зависящую от множества факторов. Показано, что вопросы исследования турбулентного пограничного слоя подняты в трудах Г. Шлихтинга, Л.Г. Лойцянского, С.С. Кутателадзе и других ученых, сделавших огромный вклад в развитие теории пристенной турбулентности.

Отмечается, что изменение гидродинамического взаимодействия потока и поверхности возможно при создании гидрофобных покрытий на основе ПАИК. В работах В.А. Рыженкова, А.В. Куршакова и Т.И. Петровой

отражено применение ПАИК в энергетике для решения задач консервации оборудования в период простоев и ремонтов. Предлагается использование гидрофобных покрытий на основе ПАИК с целью изменения гидродинамического взаимодействия рабочего потока и поверхностей элементов проточной части, обеспечивающего снижение потерь гидравлического трения.

Показаны тенденции широкого применения фторопласта в качестве одного из конструкционных материалов при создании центробежных насосов. В работах Д.В. Маркова и И.А. Могильченко рассматривается перспективность применения фторопласта, обусловленная инертностью практически к любым видам химического воздействия. При этом во внимание не принимаются гидрофобные свойства материала, позволяющие обеспечить снижение потерь гидравлического трения.

Анализ литературных источников показал, что, несмотря на многообразие предлагаемых способов совершенствования центробежных насосов, не уделяется внимание модернизации, обеспечивающей изменение гидродинамического взаимодействия рабочего потока и поверхностей элементов проточной части на основе их гидрофобизации. Таким образом, перспективность предложенной модернизации определяет актуальность исследований, изложенных в диссертации.

Во второй главе осуществлены экспериментальные исследования влияния гидрофобизации поверхностей элементов проточной части на энергетические и кавитационные характеристики центробежных насосов. В качестве исследуемого объекта выбран центробежный насос КМ 65-50-160 как наиболее распространенный в «малой» энергетике. Коэффициент быстроходности насоса $n_s = 88$. Отмечены особенности изготовления элементов проточной части, определяющие повышенную шероховатость обтекаемых поверхностей.

Рассмотрено влияние гидрофобизации поверхностей элементов проточной части на различные виды потерь в центробежных насосах. Показано, что наибольшее влияние снижение сопротивления гидравлического трения оказывает на гидравлические потери.

Исследования проводились при создании гидрофобного покрытия на поверхностях РК, так как значительная доля потерь трения формируется в области течения в пределах РК, поверхности которого взаимодействуют с потоком в условиях наибольших скоростей. Экспериментальные исследования проводились при формировании гидрофобных покрытий на основе ПАИК и на основе фторопласта. Покрытие на основе ПАИК создавалось на штатном РК, изначально установленном в насосе, а

фторопластовое – на дополнительном РК, устанавливаемом при проведении соответствующих исследований, что позволило обеспечить независимость результатов. Рассмотрена методика применения ПАИК с целью формирования гидрофобных покрытий, не требующая дополнительной специальной подготовки поверхности и позволяющая обеспечить коррозионную защиту элементов проточной части, повышая надежность эксплуатации. Покрытие состоит из наноструктурированных молекулярных слоев, при создании покрытия обеспечивается сохранение исходной геометрии поверхности. Проведена адаптация методики, применяемой в энергетике для консервации оборудования, определены параметры формирования покрытия на поверхностях РК.

Отмечается, что покрытия на основе фторопласта, наряду с высокой гидрофобностью, обладают стойкостью к химическим воздействиям и износу, позволяют незначительно снижать шероховатость поверхности. Проведен комплекс дополнительных экспериментальных работ, в результате которого определены параметры нанесения фторопластового покрытия на геометрически сложные поверхности РК центробежных насосов.

Степень гидрофобности определялась по величине краевого угла смачивания, рассчитываемого на основании геометрических параметров капли на исследуемой поверхности, фиксируемых с использованием макрофотографий. Краевой угол исходной поверхности обоих РК составил 55° , краевой угол поверхности после создания как гидрофобного покрытия на основе ПАИК, так и фторопластового покрытия составил 130° . Проводились измерения шероховатости необработанных поверхностей дисков каждого РК в исходном состоянии (75 мкм) и после создания гидрофобных покрытий на основе ПАИК (величина шероховатости не изменилась) и на основе фторопласта (шероховатость снизилась до 55 мкм).

Испытания насоса КМ 65-50-160 проводились в соответствии с ГОСТ 6134-87 «Насосы динамические. Методы испытаний» на энергокавитационном стенде МЭИ. Оценка точности определяемых при испытаниях величин с учетом приборного парка, установленного на энергокавитационном стенде, показала, что уровень погрешности косвенных измерений на номинальных режимах не превышал предельно допустимых значений, установленных ГОСТ 6134-87. Приемлемая погрешность определения прибавки КПД как дифференциальной величины, характеризующейся отсутствием систематической погрешности, обеспечивалась снижением случайной погрешности путем многократных повторений измерений и испытаний.

В ходе испытаний для каждого РК определялись характеристики насоса при исходном состоянии поверхности и после создания гидрофобного покрытия. Отмечается рост КПД (рабочие участки приведены на рис. 1 и рис. 2), достигающий максимального значения в оптимальном режиме работы. При этом обеспечивается работоспособность насоса (сохранение напорных и кавитационных характеристик).

Повышение КПД в оптимальном режиме составило 1,7 % после создания гидрофобного покрытия на основе ПАИК, и 1,8 % после создания фторопластового гидрофобного покрытия. Отмечается, что, несмотря на снижение шероховатости поверхности при создании фторопластового покрытия, величины прироста КПД приблизительно равны, что позволяет предположить определяющее значение гидрофобности поверхности при снижении гидравлических потерь.

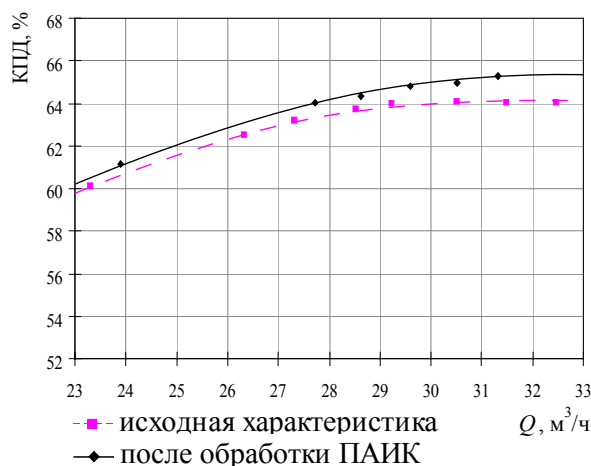


Рис. 1. КПД насоса КМ 65-50-160 до и после создания гидрофобного покрытия на основе ПАИК

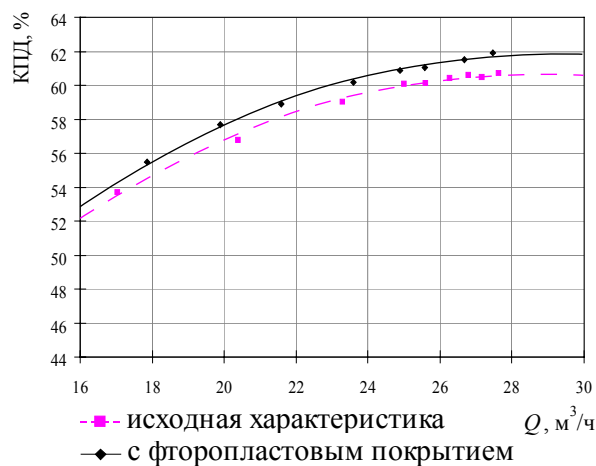


Рис. 2. КПД насоса КМ 65-50-160 до и после создания гидрофобного фторопластового покрытия

В третьей главе осуществлены экспериментальные исследования влияния гидрофобизации поверхности на гидродинамику канонической области течения на примере продольного обтекания плоской пластины. Отмечено, что закономерности, полученные для пограничного слоя на плоской пластине, являются основой расчетов многих областей течения, в которых не возникает резко выраженного отрыва. При экспериментальных исследованиях применялся метод определения величины сопротивления F обтекаемого тела (плоской пластины шириной $b_{пл}$) по распределению скоростей u в спутном течении на основании теоремы импульсов:

$$F = 2 \cdot b_{nl} \cdot \rho \int_0^{\infty} u(U_{\infty} - u) dy,$$

где ρ – плотность жидкости, U_{∞} – скорость невозмущенного потока, y – координата, нормальная к поверхности пластины.

Для исследования продольного обтекания плоской пластины использовался гидродинамический лоток МЭИ открытого типа. Определение скорости потока в спутном течении за пластиной осуществлялось с помощью трубки Пито-Прандля. Размеры пластины: 250 x 250 x 1 мм. Скорость невозмущенного потока в лотке составляла 0,735 м/с. Числа Рейнольдса, определенные по длине пластины и для основного потока в гидродинамическом лотке составляют $1,8 \cdot 10^5$ и $2,1 \cdot 10^5$ соответственно. Обеспечивался турбулентный режим течения в пограничном слое, что подтверждено сравнением экспериментальных данных с теоретическими и эмпирическими данными оценки толщины слоя для ламинарного и турбулентного режимов. Сопротивление гидравлического трения определялось путем вычитания лобового сопротивления из величины полного сопротивления. Оценены погрешности определения сопротивления пластины с учетом погрешности измерения скорости потока и погрешности метода расчета сопротивления на основании теоремы импульсов.

Гидрофобное покрытие на поверхностях пластины формировалось на основе ПАИК. Величина краевого угла для поверхности в исходном состоянии составила 55° , для гидрофобизированной поверхности – 140° . Шероховатость пластины до и после формирования покрытия на основе ПАИК осталась неизменной и равной 1,8 мкм. Измерения скоростей потока проводились на расстоянии 20, 30 и 40 мм за пластиной (рис. 3). Среднее снижение сопротивления трения после гидрофобизации поверхностей пластины составило 23 %.

Осуществлено численное моделирование исследуемого течения с использованием программного комплекса «FlowVision», предназначенного для моделирования гидродинамических процессов и основанного на конечно-объемном методе. Сопоставление профилей скорости полученных экспериментальным и расчетным путем для гидрофобизированной поверхности представлено на рис. 4.

Расчетная область соответствовала условиям физического эксперимента. Расчетная сетка формировалась путем автоматического разбиения с локальным сгущением вблизи пластины и в области спутного течения. Расчетное снижение сопротивления трения после гидрофобизации поверхностей пластины составило 27 %. Хорошее соответствие экспериментальных и расчетных результатов позволяет использовать

примененные расчетно-теоретические методы с целью исследования других областей течения при гидрофобизации обтекаемых поверхностей.

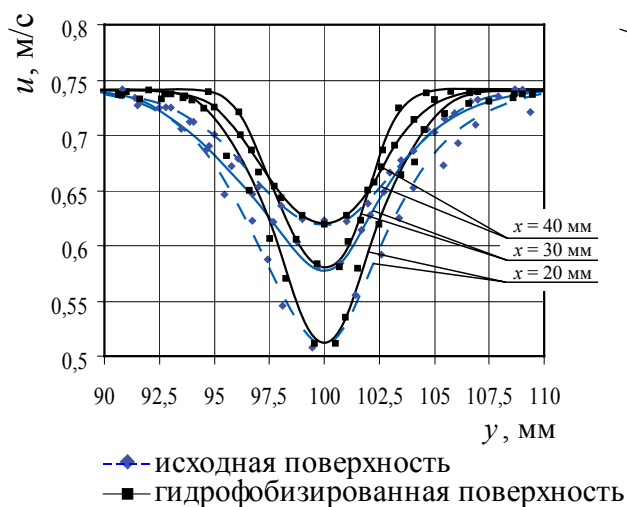


Рис. 3. Экспериментальные профили скорости для исходной и гидрофобизированной поверхности

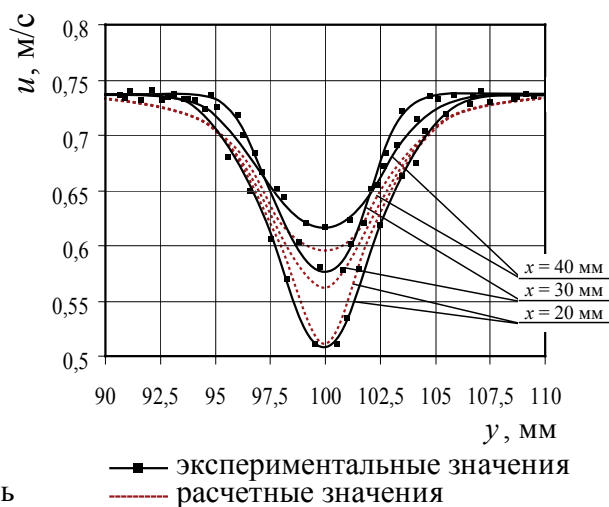


Рис. 4. Экспериментальные и расчетные профили скорости после гидрофобизации поверхности

В четвертой главе осуществлены расчетно-теоретические исследования гидродинамики лопастной системы насоса КМ 65-50-160 с использованием 3D метода МЭИ и выполнено его расширение по учету влияния гидрофобности поверхности.

Отмечено, что современные гидродинамические методы анализа лопастных систем позволяют с высокой степенью достоверности осуществлять исследования насосного оборудования в широком интервале переменных расчетных параметров, таких как подача, напор, частота вращения и свойства перекачиваемой жидкости. В работе использовался 3D метод МЭИ, разработанный Моргуновым Г.М., хорошо адаптированный к исследованию лопастных систем насосов. Метод позволяет осуществлять анализ лопастной системы по широкому спектру локальных и интегральных показателей качества и характеристик.

Исследование гидродинамических качеств лопастной системы с использованием 3D метода МЭИ осуществляется в два этапа: расчет потенциального течения и расчет вязкого течения. В результате расчета потенциального течения определены распределения скоростей и давлений в лопастной системе (рис. 5) и интегральные параметры (напор, коэффициент кавитации, циркуляция и др.). В результате расчета вязкого течения

определены коэффициенты гидравлических потерь на обводах дисков РК и в лопастной системе.

С целью расширения 3D метода МЭИ по учету влияния гидрофобности поверхности в расчетный модуль «VISC» введена коррекция, изменяющая параметры универсального профиля скорости в пристенной области, используемого при описании пограничного слоя и расчете потерь. Коррекция определяет изменение соотношения безразмерной скорости w^+ и безразмерной толщины n^+ пристенного слоя на его границе n_0^+ . На основании сравнения результатов экспериментальных исследований до и после создания гидрофобного покрытия на поверхностях РК и результатов расчетно-теоретических исследований лопастных систем, определено значение для коррекции w^+ .

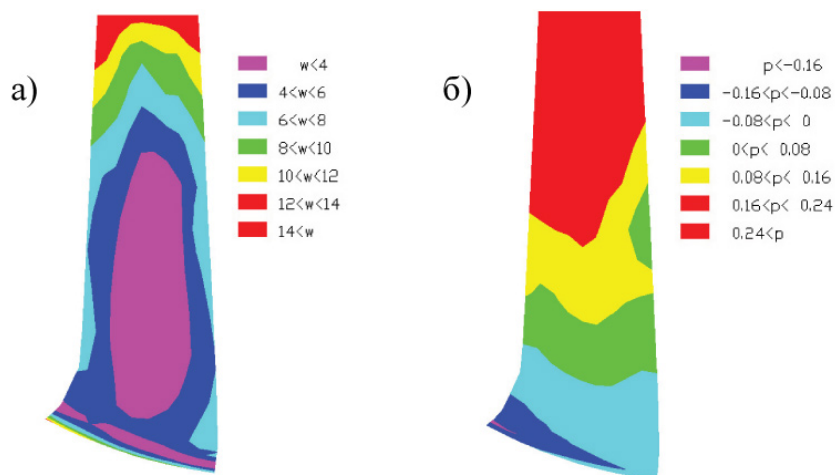


Рис. 5. Распределение модуля скорости для рабочей (а) и коэффициента давления для тыльной стороны (б) лопасти РК насоса КМ 65-50-160

Предложен вид измененного универсального профиля скорости в пристенной области при гидрофобизации поверхности. Отмечена аналогия такого изменения универсального профиля скорости при гидрофобизации поверхности и рассмотренного в работах Г.А. Филиппова и С.С. Кутателадзе эффекта снижения сопротивления гидравлического трения на основе ввода в поток полимерных добавок (эффект Томса). Расчетно-теоретические исследования вязкого течения в лопастной системе насоса КМ 65-50-160 с учетом гидрофобизации показали снижение касательного напряжения (рис. 6) на поверхности лопасти на 26 %.

Пятая глава посвящена испытаниям центробежного насоса КМ 100-80-160 в условиях длительной эксплуатации при создании гидрофобного покрытия на поверхностях РК, в ходе которых проводился

контроль параметров работы насоса. Отмечены особенности проведения таких исследований, определившие переход к интегральным методам оценки параметров работы насоса, таким как удельное и суммарное потребление электроэнергии. Для промышленных испытаний был выбран центробежный насос, эксплуатирующийся на объекте «малой» энергетики (центральном тепловом пункте) г. Москвы, обеспечивающий тепло- и водоснабжение восьми домов. Исследуемый насос КМ 100-80-160 установлен в системе холодного водоснабжения. Коэффициент быстроходности насоса $n_s = 136$.

Отмечается, что эксплуатация исследуемого насоса характеризуется широким интервалом переменных режимов работы, определяемых конечными потребителями. С целью определения характерных режимов и параметров эксплуатации насоса проводился контроль работы перед осуществлением модернизации. В течение периодов контроля работы насоса до и после модернизации проводились ежесуточные снятия показаний счетчиков расхода и потребляемой электроэнергии. Оба периода составили 14 суток. Краевой угол поверхности РК после создания гидрофобного покрытия на основе ПАИК увеличился с 55° до 130° .

Оценка эффективности эксплуатации проводилась на основе данных об удельном среднесуточном потреблении электрической энергии на единицу перекачиваемого объема N_Q , равном отношению среднесуточного потребления $N_{сум}$ к среднесуточному расходу $Q_{сум}$. Проведена аппроксимация удельного потребления $N_Q = f(Q_{сум})$ квадратичными функциями (рис. 7), определено стандартное отклонение, не превышающее 2,5 %.

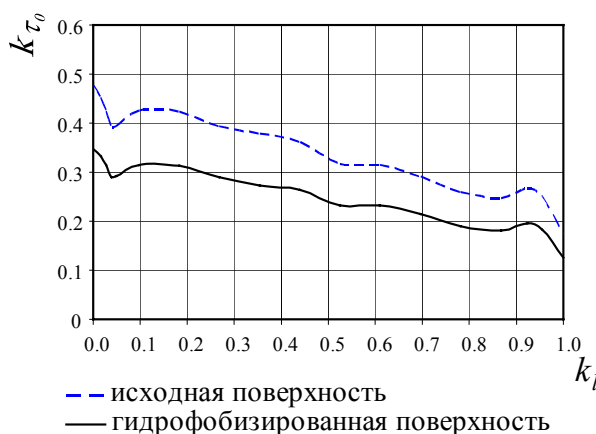


Рис. 6. Изменение коэффициента касательного напряжения по длине лопасти

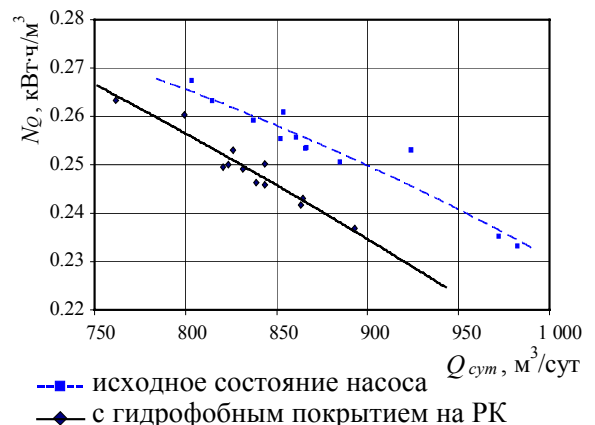


Рис. 7. Удельное потребление электроэнергии насоса КМ 100-80-160

Результаты испытаний насоса КМ 100-80-160 в условиях эксплуатации показали, что формирование гидрофобного покрытия на поверхностях РК обеспечило снижение потребляемой мощности в среднем на 7 – 10 Вт на перекачку 1 м³, а за 14 суток эксплуатации после модернизации суммарная экономия электроэнергии составила 108 кВт·ч.

После проведения исследований в течение контрольных периодов продолжено наблюдение за параметрами работы насоса с целью определения ресурса покрытия. На момент подготовки диссертации ресурс гидрофобного покрытия на основе ПАИК составил 7240 часов непрерывной работы. За этот период суммарная экономия электроэнергии составила 2,3 МВт·ч.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Подтверждено повышение эффективности и сохранение работоспособности центробежного насоса типа КМ 65-50-160 при создании гидрофобных покрытий на основе ПАИК и на основе фторопласта на поверхностях РК.
2. Проведены экспериментальные исследования влияния гидрофобизации обтекаемых поверхностей на гидродинамику в канонической области течения (продольное обтекание плоской пластины), показавшие значительное снижение сопротивления гидравлического трения.
3. Осуществлены расчетно-теоретические исследования обтекания пластины с применением комплекса «FlowVision» для различных граничных условий на поверхности, результаты которых показали хорошее совпадение с экспериментальными данными.
4. Осуществлены расчетно-теоретические исследования гидродинамических качеств лопастных систем насосов типа КМ 65-50-160 с использованием 3D метода МЭИ.
5. Осуществлено расширение 3D метода МЭИ по учету гидрофобности поверхностей проточной части, обеспечившее возможность анализа изменения потерь в лопастной системе и прогнозирование эффективности применения гидрофобных покрытий.
6. Проведен промышленный эксперимент на теплоэнергетическом объекте (ЦТП), результаты которого показали снижение энергопотребления центробежного насоса типа КМ 100-80-160 в условиях эксплуатации после создания гидрофобного покрытия на основе ПАИК на поверхностях РК.

7. Подтверждена стойкость гидрофобного покрытия на основе ПАИК, созданного на поверхностях РК насоса КМ 100-80-160, в условиях непрерывной эксплуатации в течение длительного периода времени.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Волков А.В., Парыгин А.Г., Чернышев С.А. Особенности гидродинамического взаимодействия рабочего потока с гидрофобизированной поверхностью проточной части центробежных насосов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2008. – №1. – С. 53-55.

2. Волков А.В., Панкратов С.Н., Чернышев С.А. Повышение эксплуатационных качеств центробежных насосов на основе применения фторопластовых покрытий // Вестник МЭИ. – 2008. – №1. – С. 9-13.

3. Волков А.В., Чернышев С.А. Влияние условий обтекания поверхностей проточной части центробежных насосов на различные виды потерь // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: Тез. докл. Всерос. студенческой науч.-техн. конф. – М., 2005. – С. 40.

4. Волков А.В., Чернышев С.А. Различные способы модификации поверхностей проточной части динамических насосов с целью повышения их эксплуатационных качеств // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. двенадцатой Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – М., 2006. – Т. 3. – С. 281-282.

5. Волков А.В., Поморцев М.Ю., Чернышев С.А. Расчетно-экспериментальные исследования гидродинамических качеств центробежных насосов с гидрофобной проточной частью // Насосы и оборудование. – 2006. – №3. – С. 42-45.

6. Волков А.В., Поморцев М.Ю., Чернышев С.А. Повышение эксплуатационных качеств центробежного насоса КМ 65-50-160 на основе изменения свойств поверхностей проточной части // ЕСОРУМР.RU 2006. НАСОСЫ. ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ: Тез. докл. Междунар. науч.-технич. конф. – М., 2006. – С. 15-16.

7. Волков А.В., Поморцев М.Ю., Чернышев С.А. Анализ эффективности гидрофобизации поверхностей проточной части центробежного насоса КМ 65-50-160 на основе расчетно-теоретических исследований // Гидрогазодинамика, гидравлические машины и гидропневмосистемы: Труды Междунар. науч.-техн. и науч.-метод. конф. – М., 2006. – С. 62-65.

8. Парыгин А.Г., Чернышев С.А. Повышение эксплуатационных качеств динамических насосов на основе фторопластовых гидрофобных

покрытий // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. тринадцатой Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – М., 2007. – Т. 3. – С. 236-238.

9. Волков А.В., Чернышев С.А. Повышение эксплуатационных качеств центробежных насосов в условиях эксплуатации на основе изменения гидродинамического взаимодействия рабочего потока с поверхностью проточной части // ЕСОРУМР.RU 2007. Эффективность и экологичность насосного оборудования: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М., 2007. – С. 14-15.

10. Волков А.В., Хованов Г.П., Чернышев С.А. Исследования гидродинамического взаимодействия гидрофобизированной поверхности с рабочим потоком на примере обтекания пластины // ЕСОРУМР.RU 2007. Эффективность и экологичность насосного оборудования: Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М., 2007. – С. 15-16.

11. Волков А.В., Хованов Г.П., Чернышев С.А. Исследования влияния гидрофобизации поверхностей проточной части центробежных насосов на различные виды потерь энергии // Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: Тез. докл. Всерос. студенческой науч.-техн. конф. – М., 2007. – С. 35.

12. Волков А.В., Хованов Г.П., Чернышев С.А. Снижение гидравлических потерь на основе изменения гидродинамического взаимодействия потока и обтекаемых поверхностей // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. четырнадцатой Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. – М., 2008. – Т. 3. – С. 208-209.