

М 4804784

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

БАЙБАКОВ Владимир Олегович

УДК 621.671

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
ЛОПАСТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ САПР ОСЕВЫХ НАСОСОВ

Специальность 05.04.13 - Гидравлические машины
и гидропневмоагрегаты

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1989

Работа выполнена на кафедре "Гидравлические машины, гидропривод и гидроавтоматика" (ЭИО) Московского высшего технического училища имени Н.Э.Баумана.

Научный руководитель	- кандидат технических наук доцент Матвеев И.В.
Официальные оппоненты	- доктор технических наук Петров В.И. - кандидат технических наук Куфтов А.Ф.
Ведущая организация	- НПО ВИСХОМ

Защита диссертации состоится "24" мая 1989 г.
в 14 час. 30 мин. на заседании специализированного
состава Д 053.15.11 в Московском высшем техническом учи-
лище имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, г. Москва, Ле-
фортовская наб., 1, корпус факультета "Энергомашиностроение".

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

Автореферат разослан "10" апреля 1989 г.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверен-
ные печ/ 25, Москва,
2-я Бау/ Д 053.15.11

Ученый
специа
совета
ническ

1.

М 484784

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЛОПАСТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ САПР ОСЕВЫХ НАСОСОВ

Общая характеристика работы

До последнего времени потребность в осевых насосах удовлетворялась, в основном, за счет созданных в 50-е - 60-е годы рядов модельных насосов. Однако, с развитием техники требования, предъявляемые к осевым насосам, значительно возросли. Увеличивается единичная мощность насосов, частота вращения их рабочих колес, ужесточаются требования по кавитационным и виброакустическим характеристикам. Поэтому все чаще возникает необходимость разработки новых рабочих органов, не имеющих близких аналогов. Применявшийся ранее полумпирический метод подъемных сил трудоемок, недостаточно точен, требует проведения большого объема работ по экспериментальной доводке опытного образца. В последние годы для расчета лопастных систем осевых насосов все шире начинают применяться более сложные теоретические методы, прежде всего метод интегральных уравнений. Известно несколько реализаций этого метода как в двумерной, так и в трехмерной постановке. Однако ни одна из известных методик не может вполне удовлетворить требованиям, которые выдвигаются при создании САПР осевых насосов. Прежде всего из-за сложности реализации. Поэтому была поставлена цель: создать достаточно простой, но эффективный автоматизированный инструмент для творческой работы инженера - проектировщика на базе обобщения и развития лучших положений известных методик проектирования лопастных систем осевых насосов и добиться, таким образом, повышения производительности и надежности проектных расчетов лопастных систем, сокращения объема работ по их экспериментальной доводке.

Важной чертой, которая отличает разработанную методику от всех известных, основанных на методе особенностей, является то, что в цилиндрических сечениях лопастей получаются профили серии "ВИГМ-45". Необходимость этого диктовалась прежде всего отработанной технологией изготовления лопастных систем, и, в частности, требованиями технологической САПР "Шаблон" ВНИИГидромаш, на возможность работы в комплексе с



которой была ориентирована методика. Тем более, что такое условие соответствует накопленному в мире опыту проектирования высококачественных насосов и компрессоров.

Другим важным достоинством предлагаемой методики является то, что она позволяет не только проектировать лопастные системы, но одновременно оценивать их энергетические и кавитационные качества, получать прогнозные характеристики. В результате становится возможным вводить в процесс проектирования элементы оптимизации, проектировать насосы с заданными характеристиками, производить еще на стадии эскизного проектирования проработки конструктивных схем насосов и систем, их включающих.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить три основных задачи :

- Разработать методику автоматизированного проектирования лопастных систем осевых насосов, которая обеспечивала бы получение в цилиндрических сечениях лопастей профилей серии "БИГМ-45".

- Разработать методику расчета прогнозных кавитационных характеристик.

- Разработать методику расчета прогнозных энергетических и напорных характеристик.

В ходе выполнения диссертационной работы были получены следующие результаты, представляющие научную новизну:

- Разработан алгоритм проектирования лопастных систем осевых насосов методом итерационных коррекций формы профилей в цилиндрических сечениях лопастей по результатам решения прямой гидродинамической задачи для решеток профилей на осесимметричных поверхностях тока.

- Метод решения прямой гидродинамической задачи, предложенный С.М.Белоцерковским, обобщен на случай вращающейся решетки телесных профилей.

- Применительно к методу особенностей разработан метод расчета оптимального угла атаки, основанный на результатах экспериментальных исследований А.С.Ереминой.

- Предложена уточненная модель явления неравномерного распределения теоретического напора и меридиональной скорости по размаху лопасти, даны рекомендации по его учету при

проектировании лопастных систем осевых насосов. Обоснована целесообразность задания неравномерного распределения теоретического напора по размаху лопасти.

- Установлен факт закономерности несовпадения режима безударного натекания с режимом максимума коэффициента k_λ (см. уравнение (I)). Предложены зависимости для расчета угла атаки на режиме максимума k_λ .

- Разработан метод расчета гидравлических потерь в лопастных системах осевых насосов с применением полуэмпирических формул А.П.Комарова для плоских решеток, представляющих собой конформное отображение решеток на поверхностях тока на цилиндр и последующим осреднением потерь по расходу.

Практическая ценность работы заключается в создании комплекса программ для ЭВМ, которые, совместно с технологической САПР "Шаблон" ВНИИГидромаш могут стать основой создания САПР осевых насосов. Программы могут эксплуатироваться и изолированно, повышая производительность и надежность проектных расчетов.

Результаты работы использованы при проведении шести научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в том числе в трех - в МВТУ имени Н.Э.Баумана.

Аппробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались:

- на заседаниях кафедры "Гидравлические машины, гидропривод и гидроавтоматика" МВТУ им. Н.Э.Баумана;
- на заседании кафедры "Гидромеханика и гидромашины" МЭИ;
- на Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение эффективности и надежности работы насосного оборудования для мелиорации, выпускаемого предприятиями Минхиммаша" (г. Ташкент, 1985 г.);
- на научно-технической конференции совета молодых ученых и специалистов Конструкторско - механического факультета МВТУ им. Н.Э.Баумана (г. Москва, 1985 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликованы две статьи, тезисы трех докладов и отчеты по трем научно-исследовательским темам.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы из 63 наименований и приложений. Работа изложена на 108 страницах

машинописного текста, иллюстрируется 29 рисунками на 28 страницах. Общий объем диссертационной работы составляет 207 страниц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и основные задачи диссертационной работы. Излагаются краевые условия, при которых производилось решение поставленных задач. А именно, принимается, что условия течения за решеткой не влияют на поток в решетке. При входе на решетку нарушение осевой симметрии потока не учитывается, распределение меридиональной скорости по радиусу учитывается соответствующими поправками, а распределение циркуляции скорости потока принимается равномерным.

В первой главе производится анализ существующих методик проектирования рабочих колес осевых насосов. Рассматривается метод подъемных сил, методы, связанные с использованием результатов продувок плоских решеток и методы теории гидродинамических решеток (метод Вознесенского - Пекина и метод интегральных уравнений при решении прямой и обратной задачи). Анализируются принципы, положенные в основу методик, их преимущества и недостатки. Так, метод подъемных сил хотя и прост, но недостаточно точен, плохо поддается автоматизации, связан с выполнением большого объема рутинных расчетов. К достоинствам методов, основанных на результатах продувок плоских решеток, следует отнести их простоту, богатство накопленного экспериментального материала, возможность достаточно точно рассчитывать гидравлические потери в решетках. Наибольшую сложность составляет переход от потока в плоской решетке к пространственному потоку в рабочем колесе. Основным недостатком метода интегральных уравнений при решении обратной задачи теории гидродинамических решеток является его малая точность. Мероприятия по увеличению точности расчетов по этому методу связаны с многократным усложнением методики и увеличением трудоемкости расчетов. К недостаткам этого метода следует отнести также получение неоптимальной формы профиля в решетке,

слабую обоснованность выбора угла атаки. Метод не позволяет с достаточной достоверностью оценивать кавитационные и энергетические качества проектируемого насоса. Наибольшая точность расчета потока в рабочем колесе обеспечивается при решении прямой гидродинамической задачи методом интегральных уравнений. Однако этот метод не позволяет непосредственно производить проектирование решеток. Он может служить лишь для проверки качества проектирования решеток другими методами.

Во второй главе излагаются исходные положения для составления методик проектирования рабочего колеса осевого насоса и получения его прогнозных характеристик. Предлагается модель пространственного потока в колесе, рассматривается течение в областях вблизи втулки и корпуса. На основании анализа существующих методик осуществляется выбор подходов к решению основных задач работы.

При рассмотрении модели пространственного потока в рабочем колесе обосновывается возможность отказа от точного решения первой и третьей двумерных задач, описывающих пространственный поток в решетке. Таким образом расчет потока в рабочем колесе сводится к расчету течения на осесимметричных поверхностях тока. В основу построения поверхностей тока предлагается принять следующие допущения:

- Поверхности тока являются поверхностями вращения.
- При определении формы поверхностей тока распределение меридиональных скоростей в поперечном сечении потока принимается равномерным (аналогично тому, как это делается для центробежных насосов).
- В качестве поперечного сечения потока принимается плоское сечение, перпендикулярное оси рабочего колеса.
- Образующие осесимметричных поверхностей тока аппроксимируются дугами окружностей, центры которых лежат в одной плоскости, перпендикулярной оси насоса.

Принятые допущения позволяют многократно упростить решение геометрической задачи, связанной с профилированием лопастей, автоматизировать его и сократить до минимума объем операций, выполняемых вручную.

Рассматривается явление неравномерного распределения

меридиональной скорости и теоретического напора по радиусу. Это явление впервые описал В.И.Богдановский. Он установил, что на периферии и у втулки рабочего колеса наблюдается уменьшение меридиональной скорости на входе и на выходе их колеса, а также увеличение циркуляции на выходе. В.И.Богдановский объяснил это явление влиянием радиальных зазоров между торцами лопастей, втулкой и корпусом и предложил уменьшать у втулки и на периферии расчетные значения теоретического напора и увеличивать – меридиональной скорости. Введение поправок привело к улучшению характеристик осевых насосов, но не сказалось на характере распределения меридиональной скорости и циркуляции по радиусу. В диссертации предлагается модель, согласно которой неравномерное распределение по радиусу меридиональной скорости и циркуляции является следствием неравномерного распределения гидравлических потерь. Из-за увеличенных гидравлических потерь у втулки и на периферии происходит снижение меридиональной скорости. Вследствие этого возрастает теоретический напор. Как первое, так и второе приводит к компенсации увеличенных потерь и выравниванию распределения по радиусу напора рабочего колеса. Модель подтверждается анализом эпюр, полученных В.И.Богдановским и численным экспериментом. В соответствии с предложенной моделью малое влияние поправок В.И.Богдановского на характер распределения меридиональной скорости и циркуляции по радиусу объясняется взаимопоглощаемостью поправок на меридиональные скорости и теоретический напор. Причина положительного эффекта от введения поправок состоит в уменьшении угла установки профилей в цилиндрических сечениях лопастей вблизи втулки и увеличении – на периферии. Это ведет к уменьшению закрученности лопасти и снижению диффузорности межлопаточных каналов вблизи втулки. Указывается, что в настоящее время не представляется возможным рассчитать оптимальную величину поправок, поскольку нет метода, позволяющего достаточно надежно рассчитывать гидравлические потери на участках вблизи втулки и корпуса. Для окончательного решения вопроса необходимо проведение систематического эксперимента. Даются предварительные рекомендации принимать распределение мери-

диональных скоростей по радиусу на входе и на выходе из рабочего колеса по предлагаемым обобщенным графикам, полученным на основании результатов зондирования потока В.И.Богдановским и Л.М.Лебедевым. Распределение теоретического напора рекомендуется принимать либо равномерным, либо несколько уменьшать его расчетное значение ко втулке, увеличивая на периферии и в средней части лопасти. Это позволяет уменьшить закрученность лопасти и диффузорность межлопаточных каналов вблизи втулки.

Рассматриваются возможные способы выбора оптимального угла установки профиля в решетке. Обосновывается применение для этого результатов экспериментальных исследований А.С.Ереминой. Предлагается уравнение, аппроксимирующее график А.С.Ереминой для выбора угла атаки безударного натекания.

Указывается, что наибольшую точность расчета потока на осесимметричных поверхностях тока обеспечивает метод особенностей при решении прямой задачи. Однако при проектировании необходимо решать не прямую, а обратную задачу. Предлагается решать обратную задачу методом итерационных коррекций. Сложность при этом заключается в том, что расчет теоретического напора производится для решеток на поверхностях тока, тогда как форма лопасти определяется через форму профилей в цилиндрических сечениях. Предлагается обеспечивать равенство теоретического напора на поверхности тока заданной величине, корректируя форму профиля в цилиндрическом сечении, имеющим радиус, равный радиусу поверхности тока на выходе из рабочего колеса. Форму профилей в цилиндрических сечениях в первом приближении рекомендуется принимать на основании статистических формул Л.М.Лебедева и предлагаемых автором.

Дается критический анализ известных методик расчета прогнозных кавитационных характеристик. Отказ от оценки кавитационных качеств по величине давления в точках на профиле, рассчитанного по методу особенностей, обосновывается сложностью перехода от кавитационного запаса начала кавитации, который может быть определен этим методом, к критическому кавитационному запасу, тогда как проектировщиков и эксплуатационников включающих насос систем, как правило, интересу-

ет именно критический кавитационный запас. Кроме того, указывается на недостаточно высокую точность расчета величины давления на участке вблизи носика профиля, в значительной мере определяющем кавитационные качества.

Делается вывод, что наиболее обоснованным является расчет критического кавитационного запаса по известному уравнению:

$$\Delta h_{кр} = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{C_{ур}}{k_\lambda} \cdot \frac{W_m^2}{2g}, \quad (I)$$

где V_1 - скорость потока на входе в решетку,
 W_m - среднее геометрическое относительных скоростей на входе и на выходе из решетки,
 $C_{ур}$ - коэффициент подъемной силы решетки,
 k_λ - опытный коэффициент.

Дается критический анализ известных методик расчета гидравлических потерь в лопастных системах. Указывается, что теория пограничного слоя для случая насосных диффузорных решеток разработана ещё не в достаточной мере. Кроме того, она позволяет оценить лишь профильные потери. В то же время накоплен обширный эмпирический материал по продувкам плоских решеток, известны работы по его обобщению. В частности, работа А.П. Комарова, которая была принята за основу дальнейших работ по созданию методики расчета прогнозной энергетической характеристики.

В третьей главе излагаются теоретические основы методики проектирования рабочих колес и получения их прогнозных характеристик.

Описывается методика решения прямой гидродинамической задачи, в основу которой положен метод С.М. Белоцерковского, обобщенный в данной работе на случай вращающейся решетки телесных профилей. Особенностью метода является то, что контрольные точки, в которых проверяется условие равенства нулю нормальной контуры профиля составляющей относительной скорости потока, не совпадают с вихрями. Таким образом отпадает необходимость в устранении логарифмической особенности в левой части системы уравнений, к которой сводится решение прямой гидродинамической задачи методом особенностей. В результате упрощается решение системы, повышается её об-

условленность, а, следовательно, точность решения.

Описывается метод расчета критического кавитационного запаса. Указывается, что при помощи уравнения (I) можно рассчитать критический кавитационный запас в решетке на цилиндрическом сечении рабочего колеса. Однако, для режимов натекания, отличных от безударного, отсутствуют необходимые данные для определения величины коэффициента K_d . Поэтому предлагается использовать идею метода О.Г.Деснера, согласно которой критический кавитационный запас рабочего колеса относится к некоторому характеристическому цилиндрическому сечению. При этом появляется возможность использовать для получения зависимости для определения величины коэффициента K_d богатый эмпирический материал по кавитационным испытаниям осевых насосов. Предлагается выбрать в качестве характеристического такое цилиндрическое сечение, в котором при работе насоса на первом критическом кавитационном режиме на подаче, обеспечивающей безударное обтекание профилей в решетке на этом сечении, коэффициент K_d равнялся бы 1,6. В соответствии с экспериментальными данными А.С.Ереминой, такое сечение будет отделять зону, где имеется кавитационная каверна, от зоны бескавитационной работы. Предлагается эмпирическая формула для расчета радиуса такого сечения. Указывается, что при попытке получить для характеристического сечения зависимость коэффициента K_d от безразмерной разности угла атаки между направлением относительной скорости потока на входе в решетку и хордой профиля - α_1 и угла атаки безударного натекания, рассчитанного по материалам А.С.Ереминой - $\alpha_1^{св} \left(\frac{K_d - K_d^{св}}{K_d^{св}} \right)$ максимумы зависимостей для разных насосов не совпали. В результате анализа физической сущности коэффициента K_d делается вывод, что он характеризует степень выровненности эпюры давления вдоль профиля. При безударном натекании эпюра должна быть максимально выровненной, а потому причина обнаруженного несовпадения - в несовершенстве формулы для расчета угла атаки безударного натекания, в частности в отсутствии учета в ней влияния угла установки профиля в решетке и толщины профиля. Предлага-

ются эмпирические зависимости для расчета величины угла атаки, $\alpha_1^{k_1}$, при котором значение k_2 максимально. На основании обобщения экспериментальных данных по пятнадцати типовым насосам определяется зависимость $k_2 = f(\alpha_1/d_1^k)$.

Описывается метод расчета гидравлических потерь в рабочем колесе. Для перехода от плоских решеток, для которых были получены формулы А.П.Комарова, к рабочему колесу осевого насоса предлагается рассчитывать потери по этим формулам для решеток, являющихся конформными отображениями решеток на поверхностях тока на цилиндр. Для получения интегральной величины потерь в рабочем колесе потери на поверхностях тока осредняются по расходу. Для расчета распределения индуктивных и концевых потерь по радиусу предлагается использовать структуру формулы О.Г.Деснера, уточнив в ней эмпирический коэффициент, применительно к предлагаемой методике.

В четвертой главе приводится описание программы расчета на ЭВМ рабочего колеса осевого насоса. Необходимость подробного описания программы в тексте диссертации вызвана тем, что программа являлась не только результатом работы, но и инструментом для проведения численных экспериментов. Подробно описывается структура программы, алгоритмы выполнения операций. Даются рекомендации по подготовке, вводу исходных данных и использованию результатов расчета. Программа написана на языке ФОРТРАН-IV ОС ЕС ЭВМ, состоит из 452 операторов, требует объем оперативной памяти ЭВМ 110 килобайт. Время расчета на ЭВМ ЕС 1033 составляет от 7 до 30 минут при проектном расчете или около двух минут для расчета точкой прогнозной характеристики.

В пятой главе описывается программа расчета на ЭВМ лопаточного отвода. Лопаточный отвод может быть рассмотрен как частный случай рабочего колеса, частота вращения которого равна нулю. Однако имеются и некоторые отличия, делающие целесообразным создание для расчета лопаточного отвода отдельной программы. Так, расчет на кавитацию лопаточного отвода не производится, поскольку там отсутствует, как правило, опасность кавитации. По той же причине нет необходимости обеспечивать безударное натекание. Традиционно

принято устанавливать входной элемент лопастей лопаточного отвода по потоку без угла атаки. Описывается численный эксперимент, показавший, что введение, в соответствии с рекомендациями А.С.Ереминой и А.П.Комарова, угла атаки, применительно к принятой методике проектирования лопаточного отвода, не приводит к уменьшению гидравлических потерь. Уменьшение величины срывных потерь в результате введения угла атаки компенсируется увеличением других видов потерь, связанных с изменением формы профиля в цилиндрическом сечении. Форма проточной части лопаточных отводов такова, что поверхности тока с достаточным приближением к физической модели могут быть приняты цилиндрическими. Это позволяет значительно упростить программу, сократить время расчета.

Приводится описание программы, принципов ее работы, алгоритмов выполнения операций. Даются рекомендации по подготовке, вводу исходных данных, по использованию результатов расчета. Программа написана на языке ФОРТРАН-IV ОС ЕС ЭВМ, включает в себя 183 оператора, требует объем оперативной памяти ЭВМ 100 килобайт. Время расчета на ЭВМ ЕС 1033 составляет от двух минут при расчете гидравлических потерь в отводе до пяти - семи минут при проектном расчете.

Шестая глава посвящена проверке достоверности результатов расчета. С этой целью производится сравнение экспериментальных и расчетных (прогнозных) характеристик для пятнадцати типов осевых насосов (в основном серии ОП). Описывается методика расчета прогнозных характеристик осевых насосов с применением разработанных программ. Средние расхождения экспериментальных и расчетных значений параметров для пятнадцати насосов на трех режимах работы (оптимальном по КПД и отличающихся от него по подаче на $\pm 10\%$) составили по теоретическому напору - 5,5%, по критическому кавитационному запасу - 7,6%, по КПД - 2,3%. Приводятся графики экспериментальных и расчетных характеристик в интервале подач от 0,8 до 1,2 от подачи на оптимальном по КПД режиме. Для насосов ОПЗ ($n_s = 500$) и ОП7 ($n_s = 1000$) характеристики представлены для трех углов установки лопастей.

В седьмой главе описывается проектирование осевого на-

сосу с заданной характеристикой и повышенными кавитационными качествами. Получен кавитационный коэффициент быстроходности по первому критическому кавитационному режиму свыше 1400 при КПД около 87% на расчетном режиме. Описывается процесс выбора диаметра рабочего колеса с применением численного эксперимента.

В приложениях приведены тексты программ, контрольные примеры исходных данных и распечаток результатов расчета, схемы алгоритмов и списки обозначений, принятых в программах, и соответствующих им обозначений, встречающихся в тексте диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана методика автоматизированного проектирования лопастных систем осевых насосов, основанная на методе итерационных коррекций формы профилей в цилиндрических сечениях лопастей по результатам решения прямой гидродинамической задачи методом особенностей для двумерной модели течения на осесимметричных поверхностях тока в слое переменной толщины с опорой методики на фундаментальные опытные данные А.С.Ереминой и В.И.Богдановского.

2. Разработана методика решения прямой гидродинамической задачи на основании обобщения метода С.М.Белоцерковского на случай вращающейся решетки телесных профилей на осесимметричной поверхности тока.

3. Показано, что малая эффективность поправок В.И.Богдановского на компенсацию неравномерного распределения по радиусу меридиональной скорости и циркуляции на выходе из рабочего колеса вызвана их взаимопоглощаемостью. Предложено принимать распределение меридиональной скорости на входе и на выходе из рабочего колеса по обобщенным графикам, полученным на основании результатов зондирования потока В.И.Богдановским и Л.М.Лебедевым. Распределение теоретического напора по радиусу следует принимать либо равномерным, либо уменьшать ко втулке, увеличивая в средней части и на периферии. Это позволяет уменьшить закрученность ло-

пасти и диффузорность межлопаточных каналов вблизи втулки.

4. Установлен факт закономерного несовпадения режима безударного натекания с режимом, на котором максимально значение коэффициента k_{λ} (см. уравнение (1)). Предложены зависимости для учета этого явления.

5. На базе разработанных алгоритмов и методик создан комплект программ для автоматизированного проектирования лопатных систем осевых насосов, который может эксплуатироваться как изолировано, так и в комплексе с САПР "Шаблон" ВНИИГидромаш.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. В.О.Байбаков Методика расчета на ЭВМ рабочих колес осевых насосов методом теории гидродинамических решеток. - Всесоюзная научно-техническая конференция "Повышение эффективности и надежности работы насосного оборудования для мелиорации, выпускаемого предприятиями Минхиммаша": Тез. докл. конф.- М., 1985. - С. 30-32

2. В.О.Байбаков Расчет на ЭВМ рабочих колес осевых насосов методом теории гидродинамических решеток // Изв. вузов. Машиностроение. - 1986. - №9. - С. 159

3. В.О.Байбаков Применение метода интегральных уравнений для расчета на ЭВМ лопастей рабочих колес осевых насосов // Тр. МВТУ. - 1986. - Вып. 468. - С. 101-112

4. В.О.Байбаков Применение метода особенностей для проектирования рабочих колес осевых насосов. - Межвузовская научно-техническая конференция "Прогрессивные технологии и конструкции, механизация и автоматизация производственных процессов в машино- и приборостроении": Тез. докл. конф.- Калуга, 1987. - С. 130-131

5. В.О.Байбаков Об учете неравномерного распределения по радиусу меридиональной скорости и циркуляции при расчете рабочего колеса осевого насоса // Тр. МВТУ. - 1987. - Вып. 494. - С. 67-71

Объем I п.л. Тираж 100 экз. Ротапринт МВТУ
Зак. 429. Д-18186 от 22.03.89г.