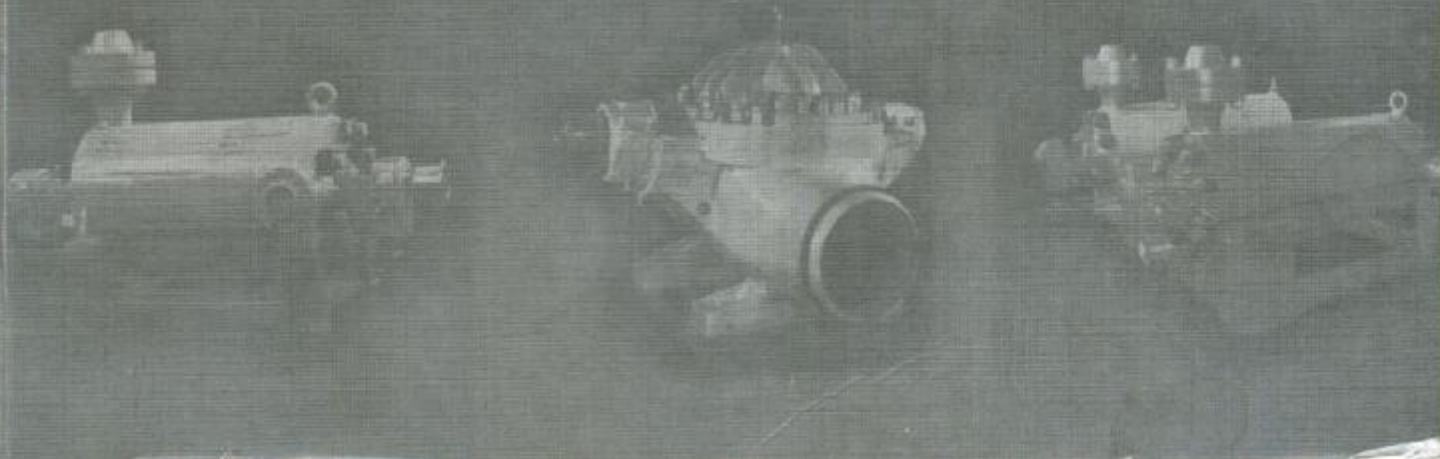


**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА
НАСОСО- И
КОМПРЕССОРОСТРОЕНИЯ**



Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Сумский государственный университет

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА НАСОСО- И КОМПРЕССОРОСТРОЕНИЯ

Монография

Под редакцией
д-ра техн. наук, проф. В. А. Марцинковского,
канд. техн. наук, доц. И. Б. Твердохлеба,
канд. техн. наук, доц. Е. Н. Савченко

Сумы
Сумский государственный университет
2011

УДК 621.671; 621.5
ББК 31.762
Т 30

Рецензенты:

- А. Р. Якуба* – доктор технических наук, профессор
(Сумский национальный аграрный университет);
И. Б. Каринцев – кандидат технических наук, профессор
(Сумский государственный университет)

*Рекомендовано к печати ученым советом
Сумского государственного университета
(протокол № 1 от 01.09.2011)*

**Теория и практика насосо- и компрессоростроения: монография / под ред.
Т 30 В. А. Марцинковского, И. Б. Твердохлеба, Е. Н. Савченко. – Сумы: Сумский
государственный университет, 2011. – 412 с.
ISBN 978-966-657-384-4**

Книга посвящена вопросам повышения экономичности и надежности насосного и компрессорного оборудования в энергетике, химической, нефтехимической, пищевой и других отраслях промышленности. Представлены работы по общим вопросам повышения энергоэффективности оборудования за счет совершенствования проточных частей и оптимизации рабочих режимов, приводятся результаты экспериментальных и расчетных исследований течений жидкостей и газов в каналах проточных частей, рассматриваются новые конструкции, а также опыт эксплуатации насосов и компрессоров в различных условиях и предложения по модернизации их основных узлов.

Рассчитана на специалистов, занимающихся разработкой, производством и эксплуатацией насосного и компрессорного оборудования для различных отраслей промышленности, а также на студентов машиностроительных специальностей вузов.

УДК 621.671; 621.5
ББК 31.762

© Марцинковский В. А., Твердохлеб И. Б., Савченко Е. Н., 2011
ISBN 978-966-657-384-4 © Сумский государственный университет, 2011

Содержание

	С.
Предисловие.....	9
1. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ..	10
1.1. Подходы к рациональному решению задачи создания нового насосного оборудования в практике группы «Гидравлические машины и системы» (Ямбуренко Н.Н, Твердохлеб И.Б., Визенков Г.В.).	11
1.2. Пути повышения энергоэффективности насосных систем (Костюк А.В., Диброва О.В., Соколов С.А., Шилов Р.Н.).....	23
1.2.1. Причины избыточного энергопотребления.....	23
1.2.2. Основные пути повышения энергоэффективности.....	24
1.2.3. Проведение технического аудита насосных систем.....	25
1.3. Повышение энергоэффективности систем путем применения частотно-регулируемого привода насоса (Афанасьев А.В., Беккер Л.М., Твердохлеб И.Б.).....	27
1.3.1. Регулирование подачи насоса.....	27
1.3.2. Способы регулирования частоты вращения насоса.....	28
1.3.3. Преимущества использования частотно-регулируемого привода на примере насосного оборудования для трубопроводного транспорта нефти.....	29
1.3.4. Возможные проблемы при использовании преобразователя частоты.....	31
1.3.5. Частотно-регулируемый высоковольтный привод.....	32
1.3.6. Типы высоковольтных преобразователей частоты.....	33
1.4. Создание новой высокоэффективной проточной части питательного насоса для тепловой энергетики (Косяненко А.С., Руденко А.А., Твердохлеб И.Б.).....	36
1.5. Пути повышения энергоэффективности центробежных насосов системы поддержания пластового давления (Багманов А.А., Бажайкин С.Г., Кулешов К.В.).....	40
1.5.1. Повышение КПД и напора насосов ЦНС путем снижения объемных потерь в проточной части.....	40
1.5.2. Обоснование возможности расширения рабочей зоны характеристик насосов ЦНС, применяемых в системе ППД.....	43
1.5.3. Разработка эффективного способа изменения напора насоса.....	46
1.5.4. Оценка жизненного цикла системы ППД.....	48
1.6. Пути повышения надежности насосного оборудования нефтеперерабатывающих производств (Швиндин А.И., Берестовский В.А.)....	50
1.7. Опыт использования насосов с гидротурбинным приводом на энергоблоках АЭС (Шлемензон К.Т., Павлов П.Г.).....	58
1.8. Влияние модернизационной пригодности и технологичности на стоимость жизненного цикла крупных насосов АЭС (Пырогов А.Д.)...	65
1.8.1. Показатели при определении цен.....	65
1.8.2. Подготовка к выделению показателей МП и МТ.....	68
1.8.3. Анализ основных типов насосов АЭС.....	72

1.9. Сравнительный анализ работы питательных насосов парового котла с регулированием частоты вращения с помощью гидравлической муфты и высоковольтного преобразователя частоты (Comparative analysis of operation of feed pumps steam boiler with speed regulation by means of a fluid clutch and a medium-voltage frequency converter. <i>Marek Skowroński, Przemysław Szulc</i>).....	85
1.9.1. Wprowadzanie.....	85
1.9.2. Model pracy bloku energetycznego.....	86
1.9.3. Charakterystyki regulacyjne bloków.....	87
1.9.4. Krzywe regulacyjne wydajności pomp zasilających.....	88
1.9.5. Charakterystyka układu pompowego.....	88
1.9.6. Temperatura wody.....	88
1.9.7. Charakterystyki pomp, sprzęgieł i przemienników.....	89
1.9.8. Obliczanie układów pompowych.....	90
1.9.9. Wyniki obliczeń.....	91
1.10. Исследование конструкции центробежного насоса для механической поддержки работы человеческого сердца (<i>Алтынцев Е., Корчак А., Кустош Р.</i>).....	93
1.10.1. Методы исследования течения в насосе.....	97
1.10.2. Определение характеристик проточной части насоса.....	98
1.10.3. Анализ результатов расчетов гидродинамических сил.....	99
1.10.4. Сдвиговые напряжения в перекачиваемой жидкости.....	100
1.10.5. Измерение основных характеристик новой проточной части насоса.....	102
Перечень ссылок.....	104
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКА В ЭЛЕМЕНТАХ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ НАСОСВ И КОМПРЕССОРОВ.....	109
2.1. Аэродинамическое и аэроупругое взаимодействие лопаточных венцов осевого компрессора (<i>Гнесин В.И., Колодяжная Л.В.</i>).....	109
2.1.1. Аэроупругая модель.....	109
2.1.2. Численный анализ.....	113
2.2. Расчетно-экспериментальная оценка и прогнозирование границы устойчивости к дозвуковому флаттеру упругих систем (<i>Зиньковский А.П., Цимбалюк В.А., Стельмах А.Л.</i>).....	119
2.2.1. Основные положения методик и средства определения нестационарных аэродинамических нагрузок.....	120
2.2.2. Расчет границы динамической устойчивости.....	124
2.2.3. Методика прогнозирования границы динамической устойчивости лопаточного венца.....	125
2.2.4. Пример определения границы динамической устойчивости лопаточного венца.....	126
2.3. Выбор геометрии проточной части центробежного компрессора в составе ГПА с газотурбинным приводом (<i>Парафейник В.П., Евдокимов В.Е., Тертыйный И.Н., Нефедов А.Н.</i>)...	127

2.4. Расчет течения вязкой жидкости в неподвижных и вращающихся решетках (<i>Жарковский А.А., Поспелов А.Ю., Пугачёв П.В.</i>).....	140
2.5. Расчетное исследование течения и потерь в насосе ЦНС 63-1400 (<i>Жарковский А.А., Алексенский В.А., Пугачёв П.В.</i>).....	148
2.6. Расчетная оценка кавитационных качеств центробежных насосов (<i>Жарковский А.А., Алексенский В.А., Пугачёв П.В.</i>)	154
2.7. Численное моделирование гидродинамических процессов в проточной части центробежного нефтяного насоса с использованием нейросетевых алгоритмов (<i>Валухов С.Г., Булыгин Ю.А., Кретинин А.В., Бучнев Р.Н.</i>)	161
2.7.1. Краткое описание нейросетевой вычислительной архитектуры.....	161
2.7.2. Моделирование гидродинамических процессов.....	163
2.7.3. Моделирование 2d турбулентного течения несжимаемой жидкости во вращающемся кольце с прилегающей областью.....	164
2.7.4. 2d моделирование гидродинамических процессов в проточной части насоса.....	166
2.7.5. Нейросетевые 3d профили лопастей рабочих колес.....	167
2.8. Решение для исходной геометрии центробежного рабочего колеса в 3D постановке (Prime geometry solution of a centrifugal impeller within 3d setting. <i>Peter Hlbočan, Michal Varchola</i>).....	170
2.8.1. The geometry design.....	170
2.8.2. The meridional cut design.....	172
2.8.3. The blade cuts design.....	173
2.8.4. The impeller's solution in a 3d environment.....	175
2.9. Конструирование геометрии диагонального насоса с использованием экспериментальных результатов внутреннего течения в рабочем колесе (Geometry design of a mixed flow pump using experimental results of on internal impeller flow. <i>Michal Varchola, Peter Hlbočan</i>).....	177
2.9.1. Pressure distribution in the chanel of an impeller.....	177
2.9.2. The procedure of a hydraulic projection of the blade.....	181
2.10. Насос турбины Френсиса со стохастическими лопатками (The francis pump turbine with stochastic blades. <i>František Pochylý, Miloslav Haluza, Jindřich Veselý</i>)	184
2.10.1. Retuning of the runner by splitter blades.....	184
2.10.2. The runner with non-uniform blade cascade.....	188
2.11. Повышение эффективности проточной части насосов «ЭЦВ» диагонального типа (<i>Надточий А.С, Солодченков В.Ф.</i>).....	192
2.12. Компьютерное проектирование проточной части центробежных насосов (<i>Косторной С.Д., Чаплыгин А.А., Косторной А.С.</i>).....	199
2.12.1. Исходные уравнения двухпараметрических потоков в ПЧ ..	
2.12.2. Общие дифференциальные уравнения двух параметрических потоков идеальной жидкости.....	202
2.12.3. Профилирование лопасти рабочего колеса.....	206

2.13. Исследование структуры течения в боковых подводах гидромашин и некоторые рекомендации по их проектированию (Каранузова М.В., Луговая С.О., Твердохлеб И.Б.)	209
2.13.1. Обоснование возможности проведения численного исследования гидравлических качеств подводов.....	209
2.13.2. Описание объектов и методики проведения численного исследования.....	210
2.13.3. Анализ результатов численного исследования.....	211
2.14. Дослідження робочого процесу комбінованого відцентрово-доцентрового ступеню шляхом проведення чисельного та фізичного експериментів (Казнієнко Д. В.)	218
2.15. Влияние зазора между рабочим колесом и корпусом на характеристики струйно – реактивной турбины (Ванеев С.М., Бережной А.С.).....	224
2.15.1. Экспериментальные исследования.....	224
2.15.2. Обработка экспериментальных данных.....	227
2.16. Антипомпажный регулирующий клапан центробежного нагнетателя на базе шарового крана (Савченко Е.Н., Сидорец А.И., Сидорец И.И.).....	232
2.16.1. Постановка задачи.....	233
2.16.2. Краткий обзор существующих конструкций антипомпажных клапанов и выбор базовой конструкции.....	233
2.16.3. Моделирование и численный расчет антипомпажного клапана на базе конструкции шарового крана.....	235
2.17. Течение жидкости в тройнике. Сравнение численного моделирования и результатов визуализации потока (The fluid flow in the t-junction. The comparison of the numerical modeling and piv measurement. Jaroslav Štigler, Roman Klas, Michal Kotek, Václav Kopecký).....	240
2.17.1. Numerical model description.....	241
2.17.2. Experiment description.....	242
2.17.3. Results comparison and discusion	243
2.18. Математическая модель кавитации и моделирование течения жидкости в диффузоре (Mathematical model of cavitation and modelling of fluid flow in cone. Milada Kozubková, Jana Rautová, Marian Bojko)	248
2.18.1. Mmathematical model.....	248
2.18.2. Geometry	252
2.18.3. Numerical parameters.....	252
2.18.4. Rresults of the numerical solution.....	255
2.19. Влияние отдельных структурных параметров на энергетические свойства радиального лабиринтного насоса (The influence of chosen structural parameters on energetic properties of a radial labyrinth pump. Przemysław Szulc, Janusz Plutecki).....	258
2.19.1. Pompa modelowa.....	260
2.19.2. Stanowisko pomiarowe.....	261
2.19.3. Badania rzeczywiste, ich wyniki i analiza.....	262
Перечень ссылок.....	267

3. НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИЯ НАСОСНОГО И КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	274
3.1. К вопросу о создании проточной части многоступенчатого насоса с минимальными радиальными размерами (Твердохлеб И.Б., Князева Е.Г., Бирюков А.И., Луговая С.О.)	274
3.2. Проектирование направляющего аппарата промежуточной ступени центробежного насоса (Луговая С.О., Ольштынский П.Л., Руденко А.А., Твердохлеб И.Б.).....	281
3.2.1. Обзор существующих методов проектирования направляющих аппаратов промежуточных ступеней.....	281
3.2.2. Анализ структуры течения в направляющих аппаратах.....	286
3.3. К вопросу о создании сменных проточных частей для магистральных нефтяных насосов (Иванюшин А.А., Колесник Е.С., Руденко А.А., Твердохлеб И.Б.)	289
3.4. Новые насосы для систем ППД, насосы для перекачки мультифазных сред с объемным содержанием газа до 95% (Федцов Ф.В.)...	
3.5. Применение малогабаритных осевых ступеней низкой быстроходности в скважинных насосах для водоснабжения (Гусак А.Г., Демченко О.А., Каплун И.П.).....	300
3.5.1. Постановка проблемы.....	300
3.5.2. Анализ предыдущих исследований.....	303
3.5.3. Основные результаты.....	304
3.6. Перспективы использования оседиагональных рабочих органов для улучшения кавитационных качеств промышленных центробежных насосов (Давиденко А.К., Елин А.В., Елин В.К., Руденко А.А.).....	309
3.7. Изменение напора центробежного рабочего колеса путем запиловки выходных кромок лопастей (Богун В.С., Пугачёв П.В., Шумилин С.А., Жарковский А.А.)	317
3.8. О возможности унификации входных крышек центробежных многоступенчатых насосов (Евтушенко А.А., Каратузова М.В.).....	324
3.9. Повышение технологичности при изготовлении и модернизации штамповарных рабочих колес крупных насосов АЭС (Пирогов А.Д.).....	331
3.10. Особенности рабочего процесса и характеристик безроторных центробежных насосов (Сёмин Д.А., Роговой А.С.).....	340
3.10.1. Постановка задачи.....	340
3.10.2. Результаты исследований.....	341
3.11. Використання багатofункціонального теплогенеруючого агрегату-гомогенізатора для харчових технологій (Папченко А.А., Ковальов С.Ф., Овчаренко М.С.).....	347
3.12. Гидроструйные вакуумные насосы: состояние и перспективы развития (Спиридонов Е.К.).....	352

3.13. Теплонасосная установка на базе струйной термокомпрессии с использованием водоаммиачного раствора (Арсеньев В.М., Ванев С.М., Проценко М.И., Гулый А.Н.).....	358
3.13.1. Выбор схемно-циклового решения.....	359
3.13.2. Моделирование рабочего процесса.....	362
3.14. Температурный феномен в потоке теплоносителя энергетической установки (Кревсун Э.П.).....	365
3.14.1. Краткий экскурс в историю вопроса.....	365
3.14.2. Два определения для термина «температура».....	367
3.14.3. Неоднозначная связь теплоемкости и температуры вещества.....	368
3.14.4. О теплоемкости воды.....	369
3.14.5. Средние значения скоростей поступательного и вращательного движения молекул воды.....	371
3.14.6. Термохаос. физическая модель.....	374
3.14.7. Пример устройства, в котором может быть использовано явление «термохаос».....	376
3.15. Оценка сохранения потенциальной энергии в системах сжатого воздуха (Estimating potential energy savings in compressed air systems. Ryszard Dindorf)	378
3.15.1. Potential energy saving in compressed air system.....	378
3.15.2. Methods to calculate the cost of compressed air.....	381
3.16. Технологии электроэрозионного легирования и обработки для компрессорного и насосного оборудования (Марцинковский В.С., Тарельник В.Б.).....	386
3.16.1. Восстановление вкладышей подшипников.....	386
3.16.2. Упрочнение и ремонт ПШ роторов.....	392
3.16.3. Упрочнение деталей типа «вал» на примере подшипниковых шеек валов.....	395
3.16.4. Насосные втулки.....	396
3.16.5. Обеспечение прирабатываемости ВП.....	399
3.16.6. Компенсация погрешностей при изготовлении подшипников скольжения.....	402
Перечень ссылок.....	404

3.8. О ВОЗМОЖНОСТИ УНИФИКАЦИИ ВХОДНЫХ КРЫШЕК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ НАСОСОВ

Евтушенко А.А., Каранузова М.В.

Центробежные многоступенчатые насосы один из основных видов насосов специализации Сумских предприятий. В конструктивном отношении это секционные машины, у которых базовыми корпусными деталями являются входные и напорные крышки. Выполненные нами работы позволяют утверждать о наличии возможности унификации входных крышек центробежных многоступенчатых насосов, например, выпускаемых АО «Сумский завод «Насосэнергомаш».

Цель и задачи исследования:

- разработать технологичную конструкцию подвода, обеспечивающую возможность проведения унификации подводящих устройств динамических насосов;
- провести исследование взаимосвязи геометрических и гидродинамических параметров подводов динамических насосов;
- разработать методику проектирования и практические рекомендации по применению комбинированных подводов в динамических насосах.

Выполненные работы позволяют утверждать о наличии возможности унификации входных крышек центробежных многоступенчатых насосов, например, выпускаемых АО «Сумский завод «Насосэнергомаш».

Последнее утверждение базируется на учете типового исполнения входных крышек как сварной конструкции, состоящей из входного патрубка, лап, базовой детали, которую можно назвать подвод. Говоря об унификации, следует иметь в виду, что речь идет, в первую очередь об унификации подводов (по крайней мере, об унификации их заготовок). Геометрия входного патрубка определяется параметрами потока на входе в насос (подача, давление). Лапами можно варьировать частью привязочных размеров насоса. В части собственно подводов вопрос об их унификации определяется в первую очередь двумя факторами:

Первый – влияние на характеристику насоса структуры потока, формируемой подводом на входе в рабочее колесо первой ступени.

Второй – наличие отличий в разных насосах по величине приведенного диаметра рабочего колеса

$$D_{np1} = \sqrt{D_1^2 - d_{см1}^2},$$

где D_1 – диаметр входной воронки рабочего колеса, $d_{вт1}$ – диаметр втулки рабочего колеса.

Для определения D_{np} используется известная формула С.С. Руднева [64]

$$D_{np} = k_{ex0} \sqrt[3]{\frac{Q}{n}},$$

где $k_{ex0} = 3,25$ из условия получения максимального к.п.д.

Указанная формула получена из условия $k_1 = 0$, где $k_1 = rV_{u1}$ – момент скорости (закрутка) потока на входе в рабочее колесо.

Нами осуществлено определение D_{np} при $k_1 \neq 0$ и получена [65] обобщенная формула для определения приведенного диаметра рабочего колеса.

$$D_{np} = k_{exm} k_{ex0} \sqrt[3]{\frac{Q}{n}},$$

где

$$k_{exm} = \sqrt[3]{\frac{\pi n + \sqrt{(3\pi m)^2 + 32}}{4\sqrt{2}}}$$

При этом $m = \frac{kD_{np}}{Q}$ – безразмерный коэффициент момента скорости потока по С.С. Рудневу.

Соответственно, в случае унификации подводов при наличии рабочих колес с разными D_{np} и $d_{вт}$ достаточно ввести перед колесом соответствующую закрутку потока (обеспечить требуемую величину m_1 подводом). Последнее можно достичь, как и обеспечить требуемую (по другим параметрам) структуру потока перед рабочим колесом, путем применения разработанной нами конструкции комбинированного подвода [66], представляющий собой корпус подвода с выполненной в нем кольцевой камерой подвода и сменной деталью – профилированный направляющий аппарат (см. рисунок 3.35).

Нами проведены расчетные исследования указанных направляющих аппаратов, подтверждающие возможность получения на выходе из них (а значит на входе в рабочее колесо) наперед заданную структуру потока.

Численное моделирование течения в проточной части подвода проводилось при помощи программного продукта (ПП) ANSYS CFX 11.0 с использованием стандартной k-ε модели турбулентности. Для тестирования результатов расчетных исследований использовались результаты исследований структуры потока за подводами, выполненные путем зондирования потока на аэродинамическом стенде ВНИИАЭН к.т.н. Бирюковым А.И. и Вертячих А.В. На рисунках 3.36 и 3.37 представлены результаты таких исследований касательно широко применяемых в насосостроении полуспиральных подводов.

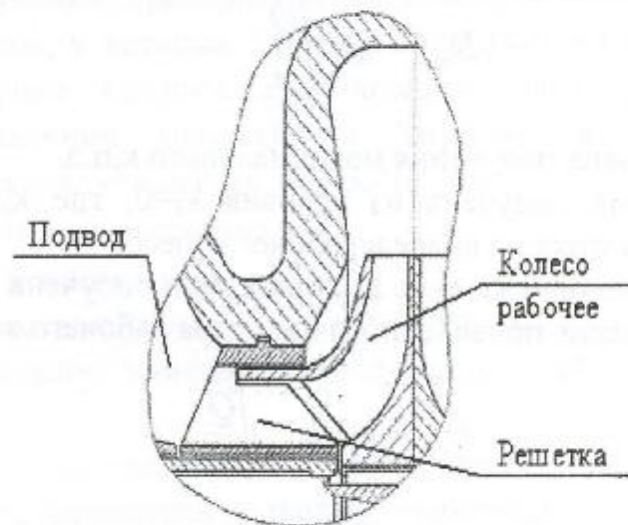


Рисунок 3.35 - Схема нового комбинированного подвода

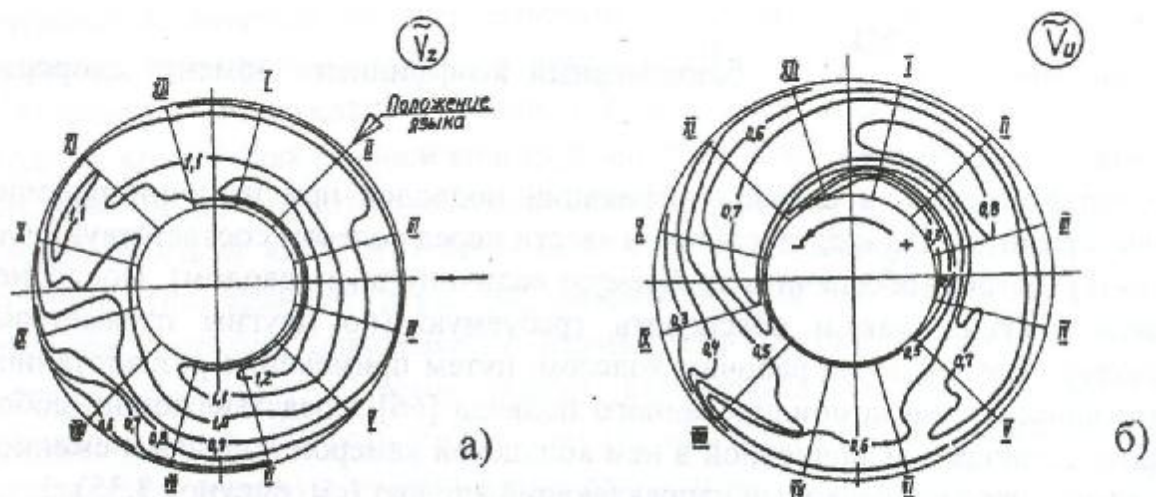


Рисунок 3.36 - Изолинии расходной (а) и окружной (б) составляющих скорости на выходе из полуспирального подвода

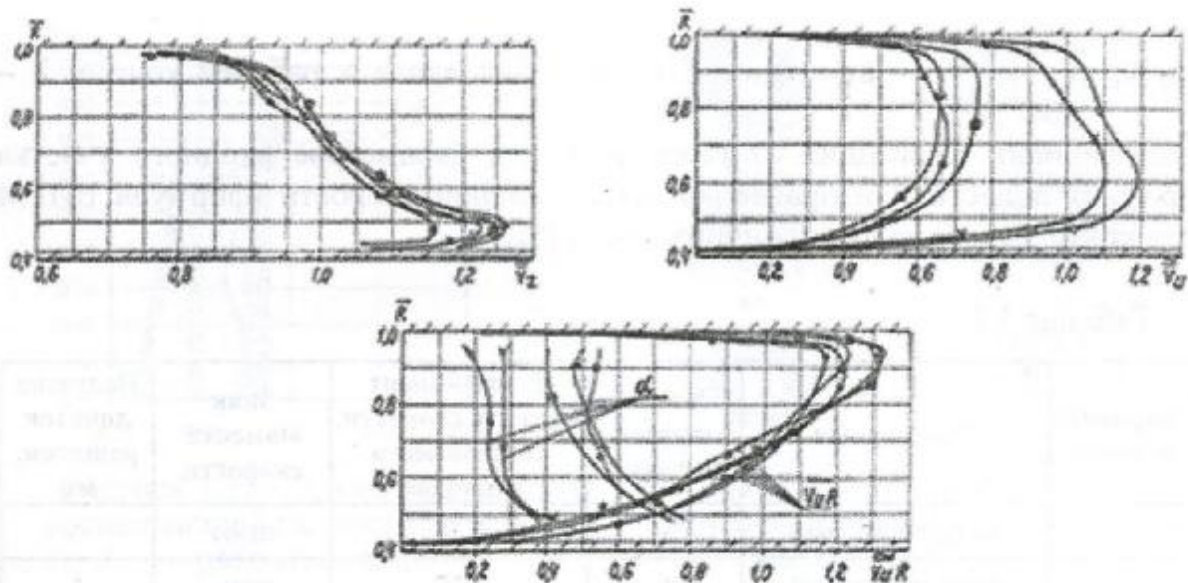


Рисунок 3.37 - Эпюры расходной (а), окружной (б) составляющих скорости и момента скорости (в) на выходе из полуспирального подвода

Расхождения результатов расчетных и физических экспериментов находятся в пределах точности, обеспеченной традиционными [67] способами изучения структуры потока с помощью зондирования.

Самостоятельной частью нашего расчетного исследования была проверка возможности путем варьирования геометрией лопаток входного направляющего аппарата (число лопаток z , направление закрутки потока: положительная или отрицательная) изменять структуру потока за комбинированным подводом. Некоторые из вариантов просчитанных комбинированных подводов приведены в таблице 3.7.

Таким образом, в унифицированных входных крышках добавляется сменная деталь – профилированный направляющий аппарат, спроектированный под требуемые условия на входе в рабочее колесо. Основная же часть подвода (кольцевой подвод) может быть унифицирована, например, по величине максимальной подачи.

Отдельно нами выполнен анализ влияния m_1 на характеристику первой ступени насоса [68 - 70]. Наши результаты, а также результаты ВНИИАЭН, полученные к.т.н. А.И. Тимшиным, Л.А. Василенко, А.И. Швиндиным показывают, что существенного влияния как на напор и к.п.д. рабочего колеса можно опасаться при значениях коэффициента быстроходности рабочих колес $n_s \leq 100$. Отдельным вопросом является влияние m_1 на антикавитационные качества рабочего колеса. Снова же необходимо различать рабочие органы с $n_s \leq 100$ и $n_s > 100$. Применительно к рабочим органам с $n_s > 100$ нами получена [70] зависимость, представленная на рисунке 3.44, где C_0 – кавитационный коэффициент быстроходности при

$m_1=0$; $\overline{d_{em}} = \frac{d_{em1}}{D_1}$ - втулочное отношение на входе в рабочее колесо; λ –

коэффициент, зависящий от геометрических параметров входного участка профиля лопасти и направления относительной скорости (формула ВИГМ для критического кавитационного запаса [5]).

Таблица 3.7

Вариант подвода	Тип подвода	Число лопаток решетки	Коэффициент момента скорости, создаваемого подводом	Знак момента скорости	Подрезка лопаток решетки, мм
1	полуспиральный	-	0,18	плюс	-
2	полуспиральный	6	0,5	плюс	-
3	полуспиральный	6	0,5	минус	-
4	полуспиральный	6	0,5	плюс	5
5	полуспиральный	6	0,5	плюс	10
6	полуспиральный	6	0,5	плюс	15
7	полуспиральный	4	0,18	плюс	-
8	полуспиральный	4	0,18	минус	-
9	полуспиральный	6	0,18	плюс	-
10	полуспиральный	6	0,18	минус	-
11	полуспиральный	4	0,5	плюс	-
12	полуспиральный	4	0,5	минус	-
13	кольцевой	-	-		-
14	кольцевой	6	0,5	плюс	-
15	кольцевой	6	0,5	минус	-

На рисунках 3.38 - 3.43 представлены некоторые результаты выполненных расчетов.

Представленная на рисунке 3.44 зависимость экспериментально подтверждена для насосов с $n_s > 100$ [70]. Экспериментальными данными относительно насосов с $n_s \leq 100$ мы не располагаем, но нет оснований полагать, что они будут существенно отличаться от данных по насосам с $n_s > 100$.

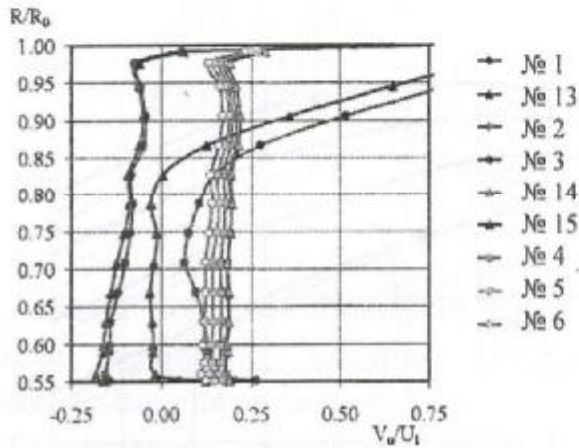


Рисунок 3.38 - Эпюры окружной составляющей скорости на входе в рабочее колесо

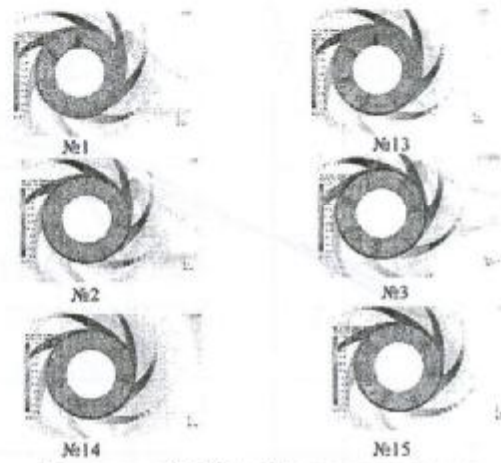


Рисунок 3.39 - Распределения окружной составляющей скорости на входе в рабочее колесо

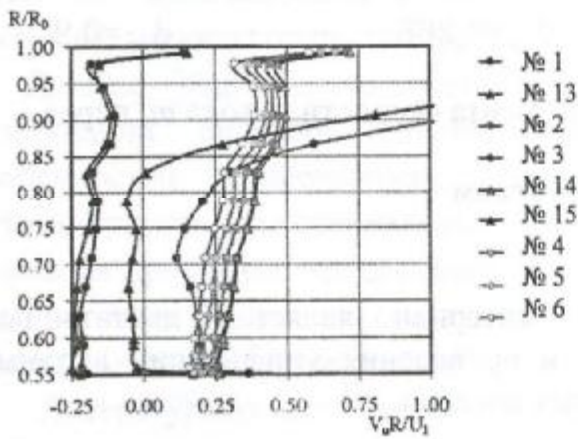


Рисунок 3.40 - Эпюры момента скорости на входе в рабочее колесо

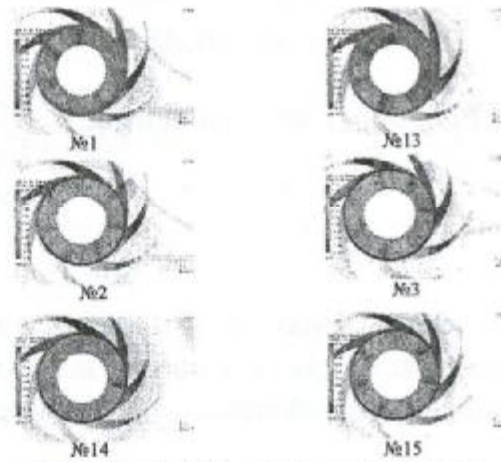


Рисунок 3.41 - Распределения момента скорости на входе в рабочее колесо

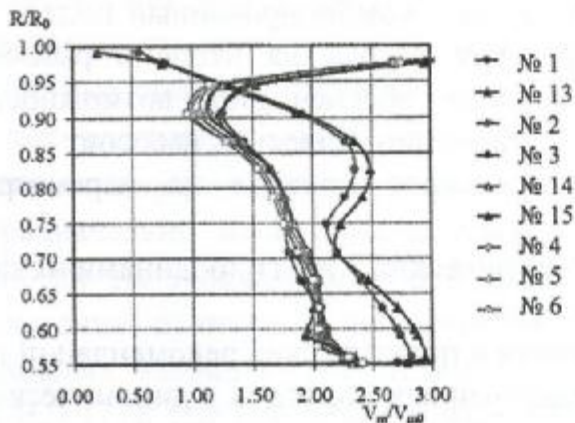


Рисунок 3.42 - Эпюры расходной составляющей скорости на входе в рабочее колесо

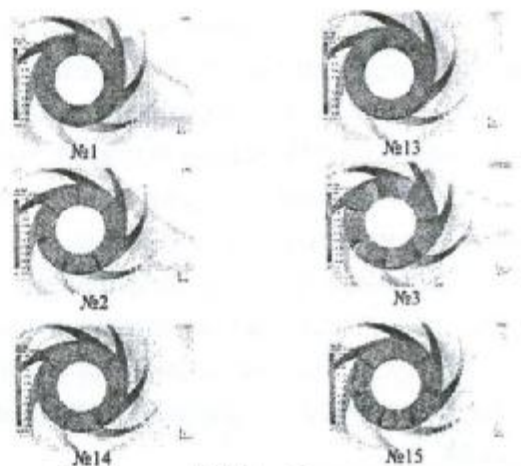


Рисунок 3.43 - Распределения расходной составляющей скорости на входе в рабочее колесо

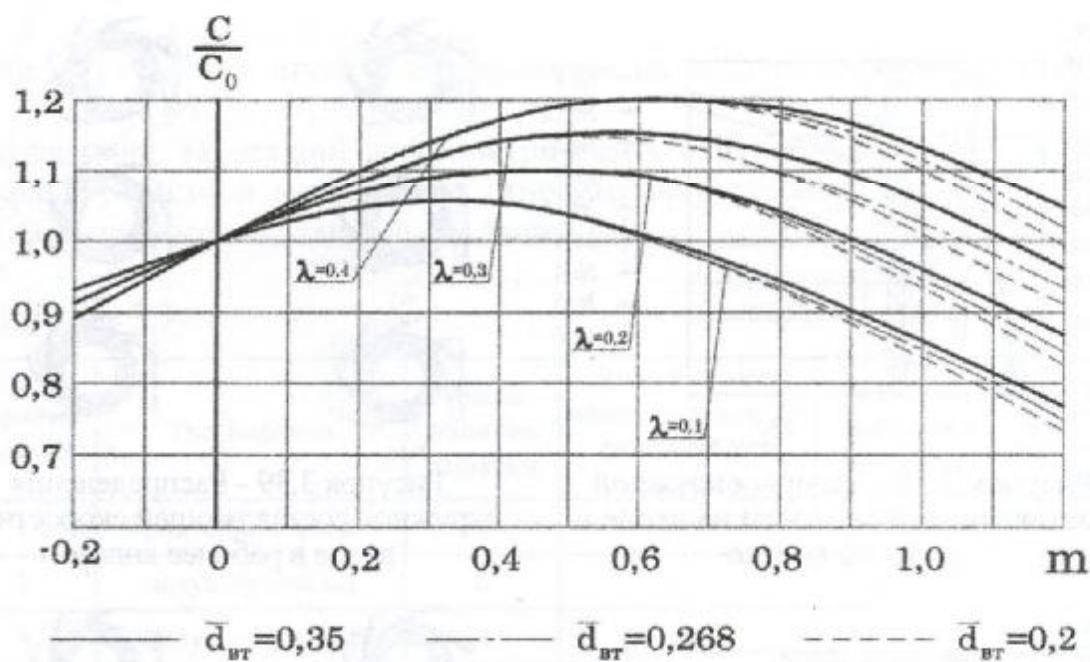


Рисунок 3.44 – Зависимость $\frac{C}{C_0}$ от момента скорости потока m_1 перед рабочим колесом

Таким образом, представленный материал является достаточным основанием для вывода о возможности проведения унификации входных крышек центробежных многоступенчатых насосов.

ВЫВОДЫ

1. Разработана новая конструкция подвода – комбинированный подвод – который обеспечивает требуемую структуру потока на входе в рабочее колесо, является технологичным, а также обеспечивает возможность проведения унификации подводящих устройств динамических насосов;
2. Произведена оценка влияния параметров подвода на параметры динамического насоса в целом;
3. Установлена взаимосвязь геометрических и гидродинамических параметров подводов динамических насосов;
4. Разработана методика проектирования и практические рекомендации по проектированию и применению комбинированных подводов в динамических насосах.