

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И АВТОМАТИКИ

На правах рукописи

УДК 621.311:621.65:621.646

ХОХЛОВ Владимир Александрович

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ НАСОСОВ И
НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ С ДЛИННЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ**

Специальность 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

ТАШКЕНТ – 2009

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Работа выполнена на кафедре «Электрические станции, сети и системы» Ташкентского Государственного технического университета им. Абу Райхон Беруни и в научно-производственном предприятии «Водоподъемник».

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор
Аллаев Кахрамон Рахимович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

Виссарионов Владимир Иванович

доктор технических наук

Камалов Туляган Сирожиддинович

доктор технических наук, профессор

Хашимов Арифжан Адылович

Ведущая организация:

НПО «САНИИРИ»

Защита состоится 5 марта 2009 г. в 14⁰⁰ часов на заседании разового специализированного совета К 015.28.01 при Институте энергетики и автоматике АН РУз, по адресу: 100125, г. Ташкент, ул. Ф. Ходжаева, 29

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института энергетики и автоматике АН РУз.

Автореферат разослан «24» января 2009 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук



О.Х. Ишназаров

Актуальность работы. Проблема повышения эффективности производства и потребления энергии является актуальной и важной во всем мире. В нашей республике энергосбережение в энергоемких отраслях экономики также является важнейшим приоритетом ее развития.

Одними из наиболее энергоемких отраслей республики являются сельскохозяйственная и нефтегазовая отрасли. Отличительная особенность энергопотребления сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей заключается в том, что большая его часть приходится на насосы и насосные станции.

Из вырабатываемых в республике около 50 млрд. кВт·ч/год электроэнергии более 8 млрд. кВт·ч/год или более 16% тратится на покрытие нагрузок насосных станций, суммарная установленная мощность которых составляет 3,75 млн. кВт. С помощью насосных станций в настоящее время орошается 2,4 млн. га из 4,3 млн. га орошаемых земель. Ежегодно всеми насосами перекачивается около 59 млрд. м³ поливной воды. Средняя длина одной нитки напорного трубопровода насосных станций республики за 40 лет возросла почти в 2,5 раза, составив 2780 метров.

Особой спецификой насосных и компрессорных станций нефтегазовой отрасли являются длинные трубопроводы и высокие давления. Например, длина нефтепровода насосной станции месторождения Кокдумалак превышает 80 км, длина магистральных газопроводов республики превышает 13000 км. Насосные станции, перекачивающие воду для нужд Бухарского нефтеперерабатывающего завода и УДП «Мубарекнефтегаз» имеют длины трубопроводов более 40 км. За последние 11 лет длина магистральных трубопроводов республики увеличилась на 6% и продолжает расти.

Постоянное увеличение длины и старение трубопроводов приводит к ежегодному увеличению затрат энергии. Такое значительное потребление электроэнергии насосными станциями, придает проблеме энергосбережения на них статус особой важности и актуальности.

Степень изученности проблемы Значительный вклад в создание методов регулирования и оптимизации режимов насосных станций внесли ученые Узбекистана. В Институте энергетики и автоматике Академии наук Узбекистана, в институте САНИИРИ и в Ташкентском институте ирригации и мелиорации с 1960-х годов проводятся исследования регулирования и оптимизации режимов электроприводов, подводящих и отводящих каналов и питающих электрических сетей оросительных насосных станций.

Зарубежными учеными в Московском энергетическом институте, Московском инженерно-строительном институте, Российском государственном университете природообустройства, Российском государственном университете нефти и газа и других ведущих институтах мира проводились исследования по оптимизации режимов работы насосов и насосных станций оросительных систем и магистральных нефтепроводов.

Анализ иностранной и отечественной литературы показывает, что вопросу потери энергии в длинных напорных трубопроводах насосных станций не уделялось достаточного внимания, ввиду относительно низкой стоимости

электроэнергии. Предыдущими исследователями режимов насосных станций в оптимизационных моделях не ставилась задача учета изменения потери энергии при преодолении гидравлических сопротивлений длинных напорных трубопроводов. Нашими исследованиями было установлено, что потери энергии в напорных трубопроводах насосных станций составляют значительную величину (около 40% от общих потерь), причем с увеличением длины напорных трубопроводов увеличивается их доля. Поэтому существующие модели не отражают полной картины режимов работы насосных станций с длинными трубопроводами и должны быть уточнены.

Следует отметить, что в основном рассматривались электромеханические методы регулирования режимов работы насосных станций. На насосных станциях с длинными напорными трубопроводами, где преобладают гидравлические потери энергии, на наш взгляд нужно уделить особое внимание на энергогидравлическое регулирование режимов, в том числе в сторону увеличения подачи насосной станции. Такие исследования в достаточной степени ещё не проводились.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Диссертационная работа выполнена в соответствии с фундаментальной программой ОТ-Ф5 «Формализация взаимосвязи электромеханических и гидромеханических переходных процессов в области энергетики» на 2007-2011 годы, с Государственной научно-технической программой ГНТП-13 «Исследование и разработка струйных насосов для импортозамещения центробежных насосов во вспомогательных системах насосных и гидроэлектрических станций» на 2006-2008 годы и с рядом хозяйственных работ, выполняемых в НПП «Водоподъемник» и ТашТУ.

Цель исследований. Целью диссертационной работы являются теоретические и экспериментальные исследования и разработка научно-обоснованных энергосберегающих режимов работы насосов и насосных станций с длинными трубопроводами.

Задачи исследований. Выполнение поставленной цели связано с решением следующих задач:

- разработка математических моделей, алгоритмов расчета и оптимизации режимов работы, обеспечивающих снижение энергопотребления насосных станций, оборудованных центробежными основными и струйными вспомогательными насосами и длинными напорными трубопроводами;
- разработка энергосберегающих способов и средств регулирования режимов работы насосных станций;
- разработка способов и устройств повышения экономичности работы насосных станций, оборудованных длинными напорными трубопроводами;
- разработка обоснования и технических решений по управлению вспомогательными дренажными системами при аварийном отключении электроэнергии с использованием энергии столба жидкости напорного трубопровода и саморегулирующихся струйных насосов;
- разработка последовательно-параллельной системы струйных насосов для вспомогательных систем насосных станций и утилизации попутных нефтяных газов.

- разработка последовательно-параллельной системы струйных насосов для вспомогательных систем насосных станций и утилизации попутных нефтяных газов.

Методы исследований. Использованы теория и методы расчета электроэнергетических и гидравлических систем, методы математического моделирования, метод минимакса и метод неопределенных множителей Лагранжа. При математическом моделировании использовался метод центрального композиционного планирования эксперимента. Методы расчета, полученные на основе математических моделей и алгоритмов управления проверены лабораторными и натурными экспериментальными исследованиями на действующих насосных станциях.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Оптимальные режимы энергопотребления и методы распределения нагрузки агрегатов крупных и малых насосных станций с длинными напорными трубопроводами.
2. Математические модели и алгоритмы расчета энергогидравлических режимов работы насосных станций оборудованных длинными напорными трубопроводами.
3. Энергосберегающие способы и средства регулирования режимов работы насосных станций с длинными напорными трубопроводами.
4. Способ откачки дренажных вод из зданий насосных станций с использованием энергии столба жидкости напорного трубопровода, в т.ч. при полном погашении электроэнергии.
5. Саморегулирующиеся струйные насосы и последовательно-параллельные системы струйных насосов для насосных станций сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей.

Научная новизна. На основе обобщений исследований и разработок по оптимизации и управлению режимами работы для энергосбережения на насосных станциях, а также разработок и исследований автора, получены следующие научные результаты:

- разработаны новые математические модели, алгоритмы расчета и определены оптимальные энергогидравлические режимы работы насосов и насосных станций с длинными напорными трубопроводами;
- впервые разработаны методы и средства энергосберегающего регулирования режимов работы насосных станций в сторону увеличения подачи, основанные на принципах снижения потерь энергии в напорных трубопроводах;
- обоснован новый способ откачки дренажных вод с использованием потенциальной энергии столба жидкости напорного трубопровода станции и саморегулирующихся струйных насосов;
- обоснованы параметры, по которым производится управление режимами утилизации попутных нефтяных газов с помощью струйных насосов;
- впервые разработан метод расчета режимов последовательно-параллельной работы системы струйных насосов для насосных станций сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей.

Научная и практическая значимость результатов исследований заключается в том, что использование результатов исследований даст возможность планировать потребление электроэнергии, производить оценку качества эксплуатации энергогидравлического оборудования, оценивать источники потери энергии и способы их снижения на действующих насосных станциях. Использование разработанных методов оптимизации и управления режимами на насосных станциях позволит в условиях эксплуатации и на стадии проектирования применять обоснованные рекомендации по снижению потерь энергии во всех элементах насосных станций. Внедрение энергосберегающих методов откачки дренажных вод из зданий насосных станций и саморегулирующихся струйных насосов обеспечит надежную работу насосной станции, в т.ч. при аварийных отключениях электроэнергии. Разработанный метод утилизации попутных нефтяных газов позволит рационально использовать природные энергетические ресурсы.

Реализация результатов работы. Результаты научных исследований по энергосбережению внедрены на насосных станциях Джизакского каскада, в частности:

1. Все три насосные станции каскада для повышения надежности и эффективности откачки дренажных вод оснащены струйными насосами, выполненными в соответствии с патентами №№ IDP 04305, IDP 04411, FAP 00180.
2. Для насосных станций каскада разработан алгоритм энергосберегающего управления режимами работы насосных станций посредством изменения числа работающих насосных агрегатов и выбора наиболее экономичного их сочетания. Разработанный метод позволяет обслуживающему персоналу назначать режимы с минимальными потерями электроэнергии.
3. Проведена оптимизация режимов работы Джизакских насосных станций для случаев распределения нагрузки между двумя и тремя агрегатами.

Перепускные устройства для экономичного регулирования режимов разработаны и внедрены на насосных станциях «Учкара» и «Кенимех» Навоийского вилоята и насосной станции «Сыр-Дарья» Наманганского вилоята.

Результаты исследований по выбору оптимального количества ниток напорных трубопроводов приняты институтом «УзДавсувлойиха» при проектировании насосной станции «Маргузор» Наманганского вилоята.

Саморегулирующиеся струйные насосы кроме насосных Джизакского каскада внедрены на насосных станциях «Чадак-1», «Тепакурган», «Сыр-Дарья», «Маргузор», «Янги-Курган» Наманганского вилоята, «ТашГресс», «Боз-Су» Ташкентского вилоята, «Раиш-Хакент-2» Андижанского вилоята, «Дустлик № 5» Кашкадарьинского вилоята, «Сувли» и «Хамза» Самаркандского вилоята и др.

Результаты исследований по разработке системы струйных насосов для утилизации попутных нефтяных газов используются в УДП «Мубарекнефтегаз».

Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения результатов диссертационной работы в масштабе сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей Узбекистана, определенная путем сравнения чистых дисконтируемых доходов, составляет в среднем за пять лет 4,7 млрд. сум в год в

ценах 2007 года. Общий подтвержденный управлениями насосных станций, энергетики и связи экономический эффект от уже внедренных разработок в пересчете на цены 2007 года составляет около 100 млн. сум в год.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: международной научно-технической конференции «Современные проблемы гидроэнергетики» (Ташкент, 1997г.), международной научно-технической конференции «Современные проблемы технических наук» (Ташкент, 1999г.), международной научно-технической и практической конференции «Автоматизация-99» (Ташкент, 1999г.), республиканской научной конференции «Стимулирование энергосбережения в рыночной экономике» (Ташкент, 1999г.), на всероссийском совещании гидроэнергетиков (Самара, Россия, 2000г.), на научно-практических конференциях «Молодежь в развитии науки и техники» (Ташкент, 2001, 2005, 2006г.), на научно-практической конференции «Проблемы энергетики» (Ташкент, 2004г.), на международной научно-технической конференции «Устойчивое развитие и экологически безопасное функционирование энергетики Узбекистана: перспективы и проблемы» (Ташкент, 2005г.), республиканской научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства» (Ташкент, 2005г.) и др.

Научные семинары по рассмотрению диссертационной работы проводились на расширенном заседании кафедры «Использование водной энергии и насосных станций» Ташкентского института ирригации и мелиорации (ТИИМ) (Ташкент, 2007г.), расширенном заседании кафедры нетрадиционных и возобновляемых источников энергии Московского энергетического института (технического университета) (Москва, 2007г.), на заседании кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство» Факультета энергетического строительства Белорусского Национального технического университета (Минск, 2007г.), на семинаре Института Энергетики и Автоматики АН РУз (Ташкент, 2007г.), на семинаре института НПО «САНИИРИ» (Ташкент, 2008г.) и на научно-техническом совещании ОАО «УзЛИТИнефтьгаз» (Ташкент, 2008г.)

Опубликованность результатов работы. Основные результаты и положения диссертационной работы изложены в 49 опубликованных работах, из которых 34 журнальные статьи, 7 изобретений, 1 полезная модель. 17 статей опубликованы в реферируемых журналах зарубежных стран: России, Белоруссии, Нидерландов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы. В приложениях представлены акты внедрения результатов исследований в производство, используемые в диссертации патенты, описания методики испытаний, применяемой аппаратуры и точности измерений натурных и экспериментальных исследований. Диссертация состоит из 222 страниц компьютерного текста, из которых 44 рисунка и 34 таблицы. Приложения представлены на 31 странице.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность работы, цель и задачи исследований. Показана научная новизна диссертационной работы и приведены ее основные научные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе освещено современное состояние эксплуатации и энергопотребления насосных станций Узбекистана, приведен анализ состояния энергосбережения и оптимизации режимов работы насосных станций, а также анализ применяемых способов регулирования режимов работы насосов и насосных станций, как крупных потребителей электроэнергии.

Объектом исследования диссертационной работы являются насосы и насосные станции сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей. Границей изучения объекта исследования выступает длина трубопровода – рассматриваются насосные станции с длиной напорных трубопроводов более 300м. Предметом исследования являются режимы выбранных насосов и насосных станций. Основной направленностью исследований является в первую очередь энергосбережение, и вытекающая отсюда экономическая эффективность объекта исследования.

В диссертации проанализированы энергетические характеристики 23 наиболее крупных насосных станций Узбекистана с длинными трубопроводами с целью определения соотношения потерь энергии в электрических сетях, электродвигателях, насосах, напорных трубопроводах и вспомогательных системах насосных станций. Был вычислен КПД трубопроводов и КПД насосных станций. Среднеарифметические величины КПД трубопроводов рассматриваемых насосных станций составили 71,4%, КПД насосов – 84,8%, КПД электродвигателей – 95,6%.

Проведенный анализ энергопотребления, позволил сделать вывод, что большие значения потерь энергии соответствуют тем станциям, в которых больше длины напорных трубопроводов и геометрические напоры.

В перспективе энергопотребление насосных станций будет неуклонно расти. Это связано с тем, что все вновь вводимые земли будут орошаться только с помощью насосных станций, причем освоение новых массивов сопряжено не только с подъемом оросительной воды, но и ее перемещением на значительные расстояния от водоисточника.

В нефтегазовой и сельскохозяйственной отраслях увеличение энергопотребления связано со старением трубопроводов и, соответственно, увеличением коэффициентов гидравлического трения и потерь энергии по длине.

Одним из наиболее перспективных направлений для энергосбережения в энергетических системах является оптимизация режимов работы крупных потребителей по критерию минимизации расходов электроэнергии и топлива, т.е. энерго- и ресурсосбережения.

Задачи оптимизации в энергетических системах и комплексах успешно решаются методами неопределенных множителей Лагранжа, вариационных исчислений, линейного и нелинейного программирования, минимакса, многокритериальной оптимизации и др. Они нашли отражение в трудах Д.А. Ар-

замасцева, В.А. Веникова, В.М. Горштейна, В.Г. Журавлева, Х.Ф. Фазылова, Р.А. Захидова, Т.Х. Носырова, Х.Ю. Юлдашева, Т.П. Салихова, К.Р. Аллаева и др.

Для насосных станций в настоящее время наиболее глубоко проработаны вопросы оптимизации крупных станций оборудованных осевыми насосами и синхронными электродвигателями. В диссертации приведен литературный анализ работ В.И. Виссарионова, Я.Н. Гинзбурга, Ш.Х. Рахимова, О.Я. Гловацкого, Б.С. Лезнова, М. Мамаджанова.

Методы оптимизации насосных станций оборудованных центробежными насосами и асинхронными электродвигателями разработаны в меньшей степени. В основном это связано с тем, что до недавнего времени не было возможности регулировать их режимы.

В диссертации проведен литературный обзор по методам регулирования режимов и энергосберегающего оборудования насосных станций. Работы Т.С. Камалова, А.А. Хашимова, Х.Г. Каримова, И.Я. Довганюка, Е.И. Сокола посвящены широкому внедрению и тенденции развития регулируемых электроприводов промышленных и сельскохозяйственных установок и многоскоростных двигателей. Отмечено, что резерв энергосбережения оросительных насосных станций связанный с применением регулируемых электроприводов составляет в среднем 10%, а в отдельных случаях до 18%.

Вторая глава посвящена разработке оптимальных энергогидравлических режимов крупных насосных станций, оптимальному распределению нагрузки между агрегатами малых насосных станций и влиянию тарифа на электроэнергию на выбор оптимального количества напорных трубопроводов насосных станций.

При исследовании энергоэффективности насосных станций одним из важнейших факторов является выбор оптимального количества и диаметров напорных трубопроводов. Напорные трубопроводы становятся все более длинными, средняя длина достигла 2780 метров. Из анализа энергопотребления видно, что основные потери энергии происходят в напорных трубопроводах насосных станций и составляют более 42% от общих потерь.

Это связано с тем, что подавляющее большинство сельскохозяйственных насосных станций в Узбекистане было построено до 1991 года. До этого времени для сельскохозяйственных потребителей, существовал льготный тариф на электроэнергию. Стоимость 1 кВт.ч составляла 0,01 руб., в то время как другим потребителям 1 кВт.ч электроэнергии обходился в 0,04 руб.

Это привело к тому, что потери электроэнергии на преодоление гидравлического трения в напорных трубопроводах не имели должного значения при технико-экономических расчетах. В результате были существенно занижены как диаметры напорных трубопроводов, так и количество их ниток.

За основу технико-экономического обоснования принято условие минимума приведенных затрат. В расчетах, приведенных в диссертации определялись минимальные приведенные затраты насосных станций для стальных трубопроводов различных диаметров в ценах на электроэнергию и строительство напорных трубопроводов на 1991 год и сложившихся на 2006 год:

$$Z_{\min} = (\alpha + P) \cdot \alpha^{\frac{-\alpha}{\alpha+P}} \cdot P^{\frac{P}{\alpha+P}} \cdot \left[m \cdot \left(E + \frac{6}{100} \right)^{\frac{P}{\alpha+P}} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{9,81 \cdot c \cdot K \cdot T}{\eta} \right)^{\frac{\alpha}{\alpha+P}} \right] \cdot Q^{\frac{2(n+1)}{\alpha+P}} \cdot Z^{\frac{P-\alpha n}{\alpha+P}} \quad (1)$$

где: Z – количество напорных трубопроводов; m и α – стоимостные коэффициенты, зависящие от материала трубопровода; d – диаметр трубопровода; c – тариф на электроэнергию: для 1991 года составляет 0,01 руб., для 2006 года – 34,5 сум; 6 – отчисления на восстановление и ремонт трубопровода, которые составляют 4,6 % для напорных трубопроводов диаметром до 2500 мм и 3,3 % более 2500 мм.

Расчеты, проведенные в ценах 1991 показали, что наименьшие затраты обеспечивались при одной нитке трубопровода. Расчеты, проведенные для сложившихся цен 2006 года, когда стоимость электроэнергии в относительных единицах превысила в 2,46 раза стоимость напорных трубопроводов, указывают на целесообразность строительства для насосных станций с напорными трубопроводами диаметром до 2500 мм – двух ниток, а диаметром более 2500 мм – трех ниток (таблица 1).

Из таблицы видно, что если бы насосные станции проектировались и строились сейчас, то количество трубопроводов необходимо было бы увеличить в 2, а то и в 3 раза. А так как эти станции уже построены, то этим и объясняется, что большая часть энергии теряется в трубопроводах.

Расчет показателей трубопроводов.

Таблица 1

Материал	d , мм	Расчетный год	α	α , %	1000K	n	P	αn	$\frac{P-\alpha n}{\alpha+P}$	Z
Трубы стальные	до 1600	1991	1,4	4,6	1,18	1,85	4,89	2,59	0,365	1
		2006	3,44					6,36	-0,171	2
	1600 – 2500	1991	1,54	4,6	1,18	1,85	4,89	2,85	0,317	1
		2006	5,90					10,9	-0,562	2
	свыше 2500	1991	1,69	3,3	1,46	1,85	4,89	3,12	0,269	1
		2006	7,02					12,9	-0,683	3

Для существующих насосных станций столь кардинальные меры, как строительство дополнительных ниток трубопроводов потребует очень больших инвестиций. Поэтому основное внимание на наш взгляд надо уделять снижению потерь энергии в напорных трубопроводах и выбору оптимальных режимов эксплуатации станций.

Рассмотрим оптимальный вариант распределения нагрузок между насосными агрегатами, приняв за критерий минимум суммарных энергозатрат одновременно работающих насосных агрегатов.

Представим полную оптимизационную модель насосных станций. Для этого рассмотрим насосную станцию, на которой установлено n насосных агрегатов, имеющих возможность регулирования. Задача состоит в определении наиболее выгодного распределения нагрузки с учетом потерь мощности. Известными являются мощностные характеристики насосов $N_i(Q_i)$ и суммарная подача насосной станции Q_c . Минимизируем потребление электроэнергии насосной станцией за время T .

$$\mathcal{E}_{\text{опт}} = \int_0^T N_i(Q_i(t)) dt \rightarrow \min \quad (2)$$

Уравнение целевой функции (эффективности) будет следующим:

$$N_H = N_1(Q_1) + N_2(Q_2) + \dots + N_n(Q_n) \rightarrow \min \quad (3)$$

где N_H – суммарная полезная потребляемая мощность насосных агрегатов.

В качестве уравнений связи, описывающих технологический процесс, выступают мощностные характеристики агрегатов $N_i(Q_i)$. В качестве ограничения в виде равенства выступает балансовое уравнение мощности:

$\sum N_i - N_H - N_{\Pi} = 0$, где $\sum N_i$ – мощность, потребляемая из электросети; N_{Π} – суммарные потери мощности в насосе, электродвигателе, трубопроводе и электрических сетях.

Ограничение по подаче заданного расхода воды насосной станцией:

$Q_c = Q^*$, где Q^* – требуемая подача насосной станции.

Ограничения в виде неравенств представлены в следующей форме:

$$N_i'' \leq N_i \leq N_i'; \quad 0 \leq H_i \leq H_{\max i}; \quad 0 \leq Q_i \leq Q_{\max i}$$

Уравнением оптимизации насосной станции будет функция Лагранжа, которая показывает зависимость управляемых параметров системы от цели, выходных и неуправляемых параметров.

$$\Phi = (N_1 + N_2 + \dots + N_n) + \lambda (\sum N_i - N_H - N_{\Pi}) = 0 \quad (4)$$

где λ – неопределенный множитель Лагранжа.

Исходя из того, что $\sum N_i - N_H - N_{\Pi} = 0$ минимум функции Лагранжа (4) и целевой функции (2) совпадают. После дифференцирования функции Лагранжа по переменным $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$, получено условие наиболее выгодного распределения нагрузки между насосными агрегатами:

$$\frac{\partial N_1}{\partial Q_1} = \frac{\partial N_2}{\partial Q_2} = \dots = \frac{\partial N_n}{\partial Q_n} = idem \quad (5)$$

где $\frac{\partial N_i}{\partial Q_i}$ – относительный прирост мощности агрегата; $\frac{\partial N_{\Pi}}{\partial Q_i}$ – относительный прирост потерь мощности.

Поиск оптимума проведен по разработанному алгоритму в стандартной программе Maple 7 и пакете прикладных задач Optimization Toolbox 3.0.1 системы автоматизации математических расчетов MATLAB 7.0.1.

Анализ результатов показывает, что наивыгоднейшее распределение нагрузки происходит в том случае, когда прирост потребляемой мощности на прирост подачи насосной станции будет одинаковым для всех агрегатов.

По полученной закономерности проведена оптимизация распределения нагрузки между агрегатами насосных станций Джизакского каскада, оборудованными входными направляющими аппаратами.

Решение задачи оптимизации было осуществлено для случаев распределения нагрузки между двумя и тремя агрегатами. На рис. 1-а и 1-б представлено трехмерное графическое изображение определения энергоэффективности при распределении нагрузки между двумя и тремя агрегатами. При распределении нагрузки между двумя агрегатами снижение потребления электроэнергии составило в среднем 3,1%, между тремя агрегатами – 4,2%.

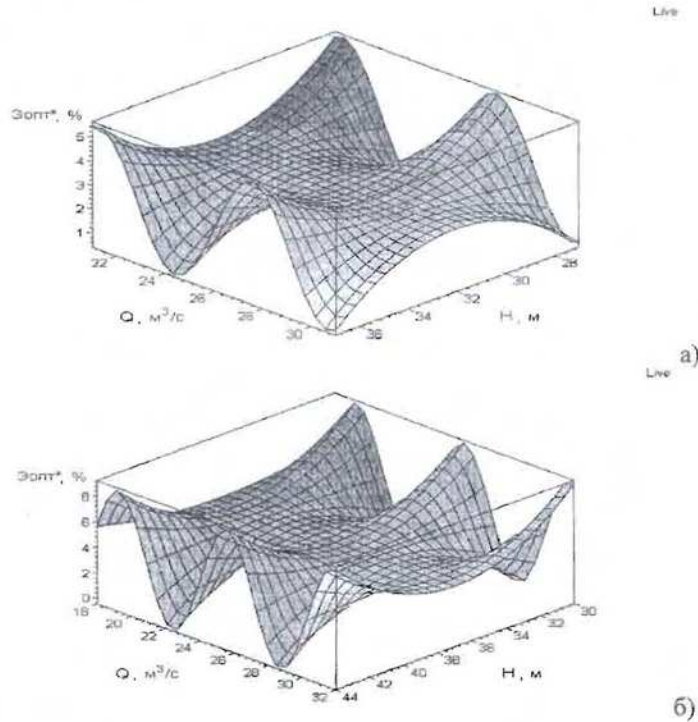


Рис. 1. Трехмерное графическое представление оптимального распределения нагрузки между двумя (а) и тремя (б) агрегатами.

Проведенные расчеты и эксперименты на ряде крупных насосных станций показали, что изложенные принципы распределения нагрузки между насосными агрегатами обеспечивают около 5% экономии электроэнергии.

В условиях рыночных отношений в сельском хозяйстве республики в связи с повсеместной деятельностью фермерских хозяйств существенно возрастает роль малых насосных станций.

Малые насосные станции обычно оборудованы несколькими разнотипными насосами с асинхронным электроприводом, работающими индивидуально или параллельно на нитку напорного трубопровода с задвижками с ручным или автоматическим управлением. Они чаще всего работают на разветвленную сеть трубопроводов с большим числом отводов; кроме того, они сами могут запитываться от крупных магистральных напорных трубопроводов. Малые насосные станции должны обеспечить потребителей строго заданным количеством воды, подаваемой под определенным давлением. Вода должна быть подана в строго определенное время, при этом интервал планирования потребления в отличие от крупных станций, измеряется сутками и даже часами.

Задача состоит в определении оптимального распределения нагрузки между насосными агрегатами и состояния запорной арматуры насосных станций, обеспечивающих минимум удельного расхода электроэнергии за заданный интервал времени:

$$w = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{z_j W(Q_j, H_{изб}, QH_j(H_{mj}), \bar{S}_j, \Delta t)}{Q_i^n} \rightarrow \min \quad (6)$$

при следующих ограничениях:

$$Q_c = \sum_{j=1}^J Q_j; Q_j = QH_j(H_{mj}, \bar{S}, H_{изб});$$

$$H_i^n \leq H_j \leq H_i^n; 0 \leq \bar{S}_j \leq 1; 0 \leq H_j \leq H_{max,j}; 0 \leq Q_j \leq Q_{max,j}$$

где $\bar{S}$ – относительное открытие задвижки j -го насоса ($\bar{S} = 0$ соответствует полностью открытой задвижке); z – переменная, характеризующая состояние насоса ($z = 0$, если $\bar{S} = 1$, насос отключен и $z = 1$, если $\bar{S} = 0$, насос включен); Q_c – суммарная подача группы насосных агрегатов при параллельном соединении j -насосов; H_m – манометрический напор насосного агрегата; $H_{изб}$ – переменный избыточный напор при запитке насосов от крупных напорных трубопроводов; $QH_j(H_{mj})$ – функциональная зависимость, определяющая подачу j -го агрегата при манометрическом напоре H_{mj} , в соответствии с рабочей характеристикой насоса; H_{max} , Q_{max} – максимальные напор и расход j -го насоса.

Внедрение предложенного метода оптимизации на малых насосных станциях позволяет получить экономический эффект за счет снижения расхода электроэнергии на подачу воды и оптимально распределить нагрузку между насосными агрегатами.

Третья глава посвящена разработке энергосберегающих методов регулирования и управления режимами работы насосных станций. Рассмотрены энергогидравлические основы регулирования режимов работы насосных станций с длинными трубопроводами при использовании регулируемого электропривода, способ регулирования режимов работы насосных станций

перепуском и метод управления режимами на насосных станциях с насосными агрегатами, работающими параллельно на общий напорный трубопровод.

Как показал литературный анализ наиболее перспективный с точки зрения энерго- и ресурсосбережения метод управления режимами работы насосных станций связан с применением частотного регулирования электропривода.

Параметры напорных трубопроводов при их больших длинах существенно влияют на режимы насосной станции при регулировании её работы. В диссертации определяется область применения частотно-регулируемого электропривода по энергогидравлическим параметрам напорных трубопроводов насосных станций.

Напорная характеристика центробежного насоса, работающего на напорный трубопровод с переменной частотой вращения, описывается уравнением:

$$H = H_H \left(\frac{n}{n_H} \right)^2 - S \cdot Q_H^2 \quad (7)$$

где H – напор в начале трубопровода; H_H – номинальный напор насоса; S – коэффициент гидравлического сопротивления напорного трубопровода, Q_H – номинальная подача насоса.

Характеристика трубопровода описывается зависимостью:

$$H = H_G + S \cdot Q^2 \quad (8)$$

где H_G – геометрический напор.

Совместное решение уравнений относительно расхода дает зависимость подачи насоса от частоты вращения электродвигателя:

$$\bar{Q} = \sqrt{\frac{(\bar{n})^2 - \eta_{np}}{1 - \eta_{np}}} \quad (9)$$

где $\bar{Q}$ – относительная подача, т.е. фактическая подача насоса, отнесенная к его номинальному значению; η_{np} – КПД трубопровода, т.е. отношение геометрической высоты подъема к манометрическому напору.

По уравнению (9) были рассчитаны зависимости, а на рис. 2 проведено графическое изменение относительной подачи насоса от его относительной частоты вращения для различных значений η_{np} . Анализ кривых показывает, что линейная зависимость изменения подачи от частоты вращения насоса наблюдается только при $\eta_{np} = 0$, т.е. при работе без геометрической высоты подъема.

Аналогично получена зависимость изменения относительного напора от относительной частоты вращения:

$$\bar{H} = \bar{H}_G + \left(1 + \bar{H}_G \right) \cdot \frac{(\bar{n})^2 - \eta_{np}}{1 - \eta_{np}} \quad (10)$$

где $\bar{H}$ и $\bar{H}_G$ – соответственно относительные напоры манометрический (отнесенный к номинальному значению напора насоса) и геометрический (отнесенный к номинальному значению геометрической высоты подъема).

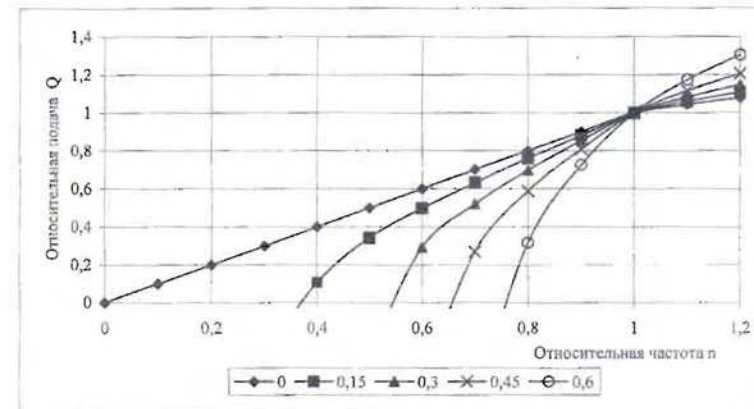


Рис. 2. Изменение подачи насоса от частоты вращения электродвигателя при различных значениях КПД трубопровода η_{np}

Определяется частота вращения регулируемого электропривода с целью обеспечения требуемого режима работы насоса. Совместное решение уравнения напорной характеристики насоса (7) и трубопровода (8) относительно частоты вращения дает выражение:

$$n = n_H \cdot \sqrt{\eta_{np} + (1 - \eta_{np}) \cdot \left(\frac{Q}{Q_H} \right)^2} \quad (11)$$

Работа насоса с частотой вращения, определяемой уравнением (11), обеспечивает поддержание минимальных значений напора на выходе насосной установки во всем диапазоне изменения ее подачи, и, следовательно, при минимальной потребляемой мощности. Приведенные в диссертации расчеты показывают, что регулирование режимов работы агрегатов малых насосных станций в соответствии с зависимостью (11) позволяют уменьшить потери электроэнергии в электродвигателях до 10% и в трубопроводах до 5%.

Другой способ регулирования работы насосной станции заключается в том, что производится перепуск части расхода жидкости из одного напорного трубопровода в другой, которые объединяются между собой с помощью перепускной трубы с дроссельным устройством.

Исследованиями было установлено, что на насосных станциях, оборудованных двумя и более параллельно расположенными длинными нитками напорного трубопровода, энергетически выгодными являются режимы с равномерной загрузкой напорных трубопроводов, т.е. при одинаковых подачах в них. На уровне изобретения (патент UZ № 2373) для насосных станций разработано энергосберегающее перепускное устройство.

Анализ фактических режимов на ряде насосных станций показал, что равномерную загрузку напорных трубопроводов не всегда удается осуществить.

Потери энергии при подаче равного количества жидкости по двум ниткам напорного трубопровода с использованием перепускного устройства (рис. 3) всегда будут меньше или равны потерям при подаче того же количества жидкости без перепускного устройства.

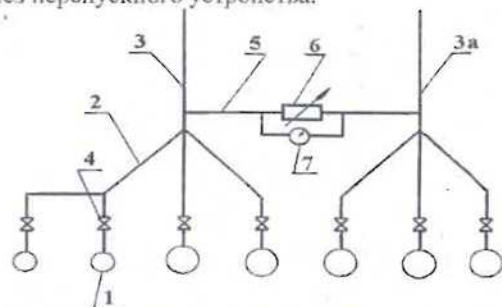


Рис. 3. Схема подключения напорных трубопроводов с перепускным устройством. 1 — насосные агрегаты; 2 — индивидуальные напорные трубопроводы; 3 и 3а — общие напорные трубопроводы; 4 — дисковый затвор; 5 — перепускная труба; 6 — дроссельное устройство; 7 — дифманометр.

Для осуществления равномерной загрузки напорных трубопроводов и регулирования подачи насосной станции был разработан и защищен патентом UZ № 4380 способ изменения производительности насосной станции. Сущность его заключается в том, что производится перепуск части расхода жидкости из одного напорного трубопровода в другой, которые объединяются между собой с помощью перепускной трубы с дроссельным устройством. Регулирование подачи осуществляется путем изменения гидравлического сопротивления дроссельного устройства, а величина изменения подачи определяется по показаниям дифманометра, измеряющего перепад давления в параллельных напорных трубопроводах в месте установки перепускной трубы.

Основное принципиальное отличие способа регулирования перепуском от частотного регулирования электропривода и регулирования направляющим аппаратом на входе заключается в том, что в данном случае регулирование происходит в сторону увеличения подачи насосной станции.

Для регулирования подачи насосной станции используется наличие перепадов давления в началах общих напорных трубопроводов насосной станции, возникающих вследствие разных потерь в трубопроводах. При закрытых дроссельных устройствах, когда не будет осуществляться перепуск по перепускной трубе из одного общего напорного трубопровода в другой, каждый насосный агрегат будет работать на свой напорный трубопровод. Суммарная подача насосной станции будет равна сумме расходов жидкости в каждом напорном трубопроводе. Если дроссельное устройство полностью открыть, то изменится характеристика сети, а, следовательно, изменятся рабочие точки насосов (рис. 4).

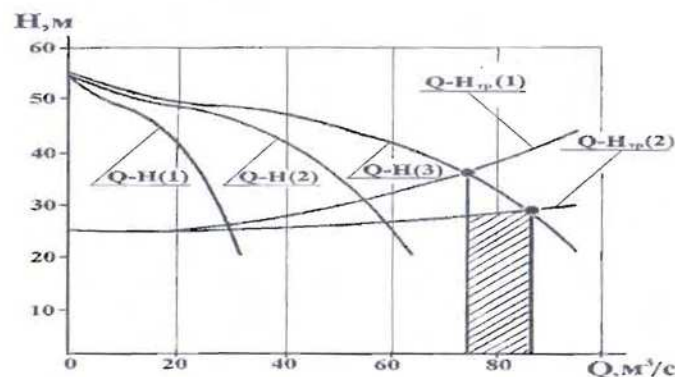


Рис. 4. Способ регулирования подачи насосной станции перепуском.

Расходы насосных агрегатов при полностью открытых или закрытых дроссельных устройствах будут являться диапазоном регулирования подачи. Чем больше разница в расходах жидкости в напорных трубопроводах (при закрытых дроссельных устройствах на напорных трубопроводах), тем больше диапазон регулирования.

Изменение подачи на заданную величину по показаниям дифманометра осуществляют по следующей зависимости:

$$\Delta Q = Q_{\max} \sqrt{\frac{H_3 - H_0}{H_3 - H_0}} \quad (12)$$

где ΔQ , $Q_{\max}$ — изменение подачи насосной станции искомое и максимально возможное; H_3 , H_0 , H_0 — показания дифманометра при закрытом, промежуточном и открытом дроссельном устройстве.

Таким образом, при различных расходах в трубопроводах суммарные потери энергии на преодоление сил трения в напорных трубопроводах при закрытых дроссельных устройствах будут всегда больше, чем потери при протекании того же расхода жидкости при перепуске, т.е. при полностью открытых дроссельных устройствах. При этом определено, что энергосбережение может составлять от 5 до 20%.

Далее в главе рассмотрен еще один метод управления режимами, который относится к насосным станциям, на которых два и более насосных агрегата параллельно соединены посредством индивидуальных напорных трубопроводов в общий (рис 5). Сущность метода заключается в том, что при регулировании режимов работы насосной станции посредством изменения числа работающих насосных агрегатов необходимо выбирать наиболее экономичное их сочетание.

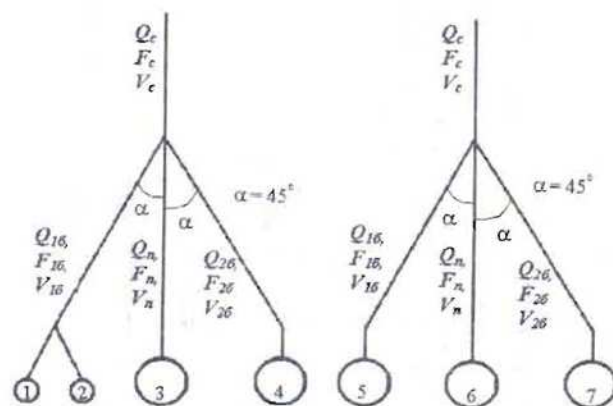


Рис. 5. Схема подключения насосных агрегатов к магистральным напорным трубопроводам.

Потери напора определяются расходами насосных агрегатов и местными сопротивлениями при слиянии потоков по формулам, приведенным в шестой главе диссертации.

Расчеты режимов работы насосных агрегатов были произведены для всех возможных вариантов подключения насосов на напорные трубопроводы. Были рассчитаны потери напора в месте соединения индивидуальных трубопроводов в общий и определены затраты мощности на преодоление потерь в местных сопротивлениях в каждом насосном агрегате.

Основные результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сопоставление потерь напора в крестовине и затрат мощности на их преодоление

№ №	Работающие агрегаты	Суммарная подача, м ³ /с	Потери напора, м			Затрачиваемая мощность, кВт.ч			
			Насос 1600В -10/40	Насос 2400В 25/40		Насос 1600В -10/40	Насос 2400В 25/40		Всего
				прямой	боков.		прямой	боков.	
1	1(2),3	38,2	-0,04	0,21		-4,4	77,8		73,4
2	1(2),4	37,9	-0,35		1,27	-37,0		460,7	423,7
3	1,2,3	45,6	0,53	0,23		60,2	80,6		201,0
4	1,2,4	45,3	0,19		1,21	21,8		429,6	473,2
5	5(7)	29,0			1,01			378,5	378,5
6	6	29,6		0,08			30,6		30,6
7	5(7),6	53,9		0,24	1,62		83,0	556,3	639,3
8	5,7	53,6			0,98			339,1	678,2

В целом, как показывают результаты расчетов потери напора и затраты мощности и, следовательно, затраты электроэнергии на их преодоление в боковом насосе во много раз превышают аналогичные величины для насоса с прямым проходом. Разница в энергопотреблении составляет до 6 %.

Исходя из этого, сделан вывод о том, что на насосных станциях с параллельно работающими насосными агрегатами энергосберегающими режимами будут такие, когда работают центральные насосные агрегаты.

Учитывая, что насосные агрегаты в процессе эксплуатации должны быть загружены равномерно, предложено при работе одного агрегата включать центральный насос, при работе двух агрегатов боковые насосы.

Проведенное математическое моделирование легло в основу энергосберегающего алгоритма управления. Он состоял из таблиц и нагрузочных диаграмм, по которым персоналом выбирается наиболее экономичное сочетание насосных агрегатов, которые необходимо включить при требуемой водоподаче.

Эксплуатация ДГНС в 2000-2006 годах по разработанному алгоритму управления позволила сэкономить до 3% потребляемой электроэнергии.

Четвертая глава посвящена режимам струйных насосов вспомогательных дренажных систем сельскохозяйственных насосных станций.

Здания станций из-за заглубленного их положения, наличия неустраняемых технологических протечек, а также возможных повреждений и аварий подвержены затоплениям. Особенно остро этот вопрос встает при участившихся в последнее время отключениях электроэнергии. Известен ряд серьезных затоплений зданий станций, вызванных внезапным погашением электроэнергии. Для откачки необходимо иметь альтернативный источник энергии.

В качестве источника энергии дренажных систем предложено использовать энергию столба жидкости напорного трубопровода насосной станции по патенту UZ № 3626, а в качестве устройства откачки – струйные насосы.

Преимущество струйного насоса заключается в том, что рабочим органом является жидкость и передача энергии всасываемому потоку осуществляется без непосредственной затраты механической и электрической энергии.

Сущность предложенного способа работы дренажной системы насосных станций схематично представлена на рис. 6. Дренажные воды скапливаются в дренажном колодце. Вода из напорного трубопровода сливается через подводящую трубу и поступает в полость саморегулирующегося струйного насоса. Под действием разрежения, создаваемого во всасывающей камере струйного насоса, дренажные воды удаляются из дренажного колодца в аванкамеру насосной станции. На насосных станциях, оборудованных длинными трубопроводами при погашении электроэнергии возможна откачка дренажных вод саморегулирующимися струйными насосами в течение 3-18 суток.

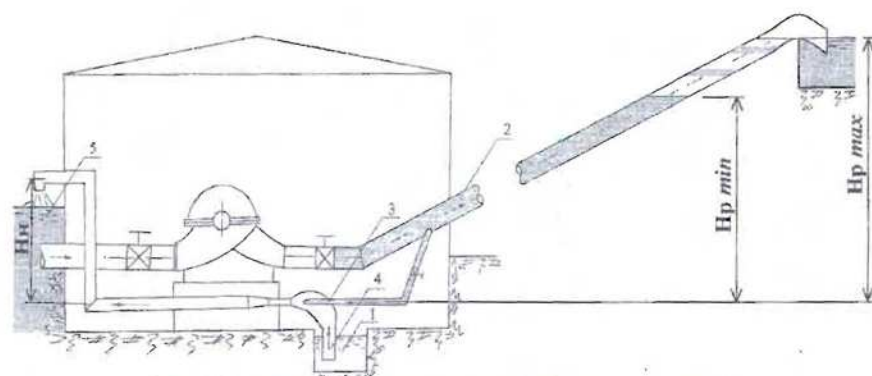


Рис. 6. Дренажная система зданий насосных станций:
1 – дренажный колодец; 2 – напорный трубопровод;
3 – подводящая труба; 4 – струйный насос; 5 – аванкамера.

Для насосных станций, оборудованных низконапорными насосами с малым отношением рабочего и нагнетаемого напоров, была разработана и защищена патентом на полезную модель № FAP 00180 последовательно-параллельная система соединенных струйных насосов (рис. 7).

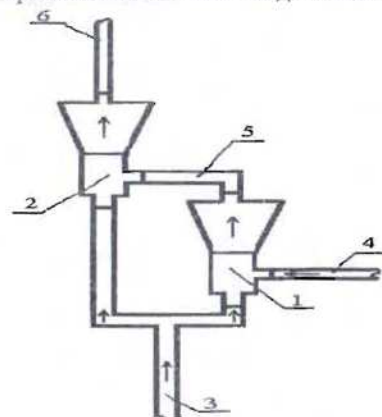


Рис. 7. Последовательно-параллельная система соединения струйных насосов.
1 – струйный насос первой ступени;
2 – струйный насос второй ступени;
3 – подводящий напорный трубопровод;
4 – всасывающий патрубок первой ступени;
5 – всасывающий патрубок второй ступени;
6 – магистральный трубопровод.

Для подачи рабочей жидкости струйными насосами первой ступени и второй ступени предусмотрен подводящий напорный трубопровод. Во всасывающий патрубок струйного насоса первой ступени поступает откачиваемая из дренажного колодца жидкость. Напорный патрубок струйного насоса первой ступени соединен посредством трубопровода с всасывающим патрубком струйного насоса второй ступени. Напорный патрубок струйного насоса второй ступени соединен трубопроводом с аванкамерой.

При опорожнении напорного трубопровода рабочий напор насоса будет изменяться. При уменьшении напора, уменьшается и скорость истечения

жидкости из сопла струйного насоса. Создадутся условия, когда насос не сможет откачивать дренажную воду в достаточном объеме.

В связи с этим проведены исследования работы и изменения основных параметров струйных насосов при изменении у него рабочего напора.

Получена основная зависимость для определения характеристик струйного насоса при переменном режиме работы:

$$H_H = \Delta H_P \left[\frac{2}{\frac{F_K}{F_c} - \left(\frac{F_K}{F_c}\right)^2} + \frac{\left(\frac{Q_B}{Q_P}\right)^2 \left(\frac{F_K}{F_c} - 2\right)}{\left(\frac{F_K}{F_c} - 1\right) \cdot \frac{F_K}{F_c}} \right] - \Delta h \quad (13)$$

где: H_H , ΔH_P – напоры нагнетаемый и рабочий; Q_P , Q_B , Q_H – расходы рабочий, всасываемый и смешанный; F_K , F_c – площади сечения камеры смешения и сопла; Δh – сумма потерь напора в сопле, приемном конфузоре, камере смешения, диффузоре и регулирующем органе.

Для продолжения эффективной откачки при снижении рабочего давления предложено применять разработанные нами конструкции саморегулирующихся струйных насосов с эластичным соплом (патент UZ № IDP 04305) и с регулирующей иглой (патент UZ № IDP 04411) (рисунки 8 и 9).

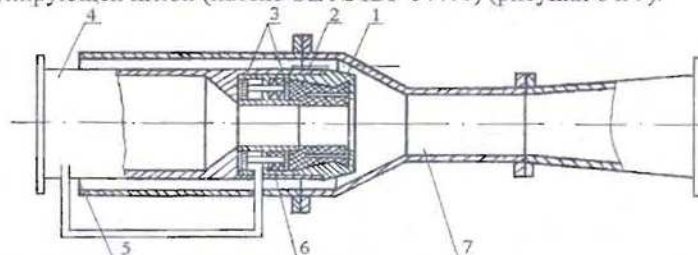


Рис. 8. Саморегулирующийся струйный насос с эластичным соплом.

1 – металлическая часть сопла; 2 – эластичная часть сопла;
3 – плунжеры с общим штоком; 4 – сопловый патрубок;
5 – всасывающий патрубок; 6 – пружина; 7 – камера смешения.

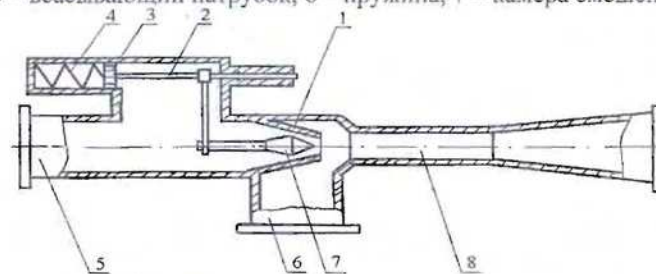


Рис. 9. Саморегулирующийся струйный насос с иглой.

1 – сопло; 2 – подвижная ось; 3 – поршень; 4 – пружина;
5 – напорный патрубок; 6 – всасывающий патрубок;
7 – регулирующая игла; 8 – камера смешения.

При снижении рабочего напора на насосной станции происходит автоматическое уменьшение площади поперечного сечения сопла в одном случае за счёт сужения эластичной части сопла, а в другом за счёт введения иглы. Это приведёт к увеличению скорости истечения из него рабочей жидкости и восстановлению отсасывающих способностей струйного насоса.

В диссертации приведены расчеты по разработанной методике саморегулирующихся струйных насосов, установленных на насосных станциях «Раиш-Хокент-2» Андижанской области и «Чадак-1» Наманганской области.

Пятая глава посвящена применению системы струйных насосов в трубопроводных системах нефтегазовой отрасли.

Проблема утилизации сжигаемых попутных нефтяных газов и газов выветривания на нефтегазовых месторождениях в последние годы становится все более актуальной. Необходимость утилизации попутных газов обуславливается кроме экономических интересов еще и предотвращением экологического загрязнения.

Так на месторождении Кокдумалак попутный газ из нефтяной части месторождения сжигается на факельных установках. До 2004 года объем сжигаемого газа достигал 1,6 млн. тонн в год.

Предложен новый метод утилизации попутных нефтяных газов при помощи разработанной по патенту № FAP 00180 последовательно-параллельной системы струйных насосов.

На месторождении эксплуатируются четыре высоконапорные технологические линии подачи газа с газового месторождения, остальные линии низконапорные. На каждой линии установлены дроссели для понижения давления газа с 11,8-12,0 МПа до 5,7 МПа. Предлагается вместо дросселя установить два последовательно-параллельных струйных насоса с отбором попутного нефтяного газа. Используя естественную энергию рабочего газа и эжектирующую способность, струйный насос произведет смешение природного и попутного газа и создаст на выходе требуемое давление для магистрального трубопровода (рис. 10).

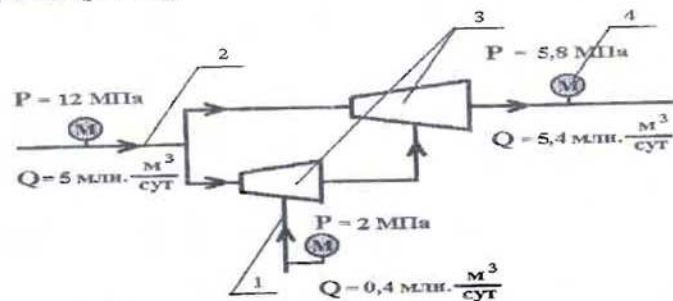


Рис. 10. Последовательно-параллельная установка струйных насосов на технологической линии месторождения Кокдумалак. 1 – всасываемый нефтяной газ; 2 – рабочий активный газ; 3 – струйные насосы; 4 – манометры.

Для утилизации попутного нефтяного газа предлагаемым способом:

- нет никакого отрицательного воздействия на окружающую среду;
- не требуется затрат дополнительной энергии извне;
- для транспортировки используется существующий газопровод;
- нет необходимости в обслуживающем персонале.

Разработана методика расчета струйных насосов при их последовательно-параллельной работе. Сущность методики заключается в том, что струйный насос первой ступени должен развивать промежуточное давление, которое определяется оптимальным расходом всасывания системы струйных насосов в целом.

В результате исследований определено, что при последовательно-параллельном соединении нескольких струйных насосов, расчет их проточных частей производится из условия, что коэффициенты всасывания насосов определяются по следующей зависимости:

$$q = \frac{Q_B + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{Pi}}{Q_{Pn}} \quad (14)$$

где: Q_B – всасываемый расход первой ступени; $\sum_{i=1}^{n-1} Q_{Pi}$ – сумма рабочих расходов на всех предыдущих ступенях; Q_{Pn} – рабочий расход на n -ой ступени; n – порядковый номер ступени соединения струйных насосов.

Разработана методика по расчету конфигурации сопла струйных насосов. Получены зависимости, позволяющие определять минимальные значения $\frac{P_P}{P_B}$, начиная с которых сверхзвуковые сопла Лаваля по сравнению с суживающимися соплами обеспечивают лучшие характеристики струйных насосов.

Оптимальной степени расширения соответствует максимум отношения импульсов потоков сверхзвукового и суживающегося сопел:

$$\frac{I_{C1}}{I_C} = \frac{Q_P V_{C1} + P_{PC1} F_{C1} - P_B (F_{C1} - F_{C*})}{Q_P V_C + P_{PC} F_C} \quad (15)$$

где Q_P – расход через сопло; V – скорость; p_P – давление торможения рабочего потока перед соплом; p_B – статическое давление всасываемого потока за соплом; F_{C1} – площадь выходного сечения сопла; F_{C*} – площадь критического сечения сопла.

Определено, что для условий месторождения Кокдумалак оптимальным является сверхзвуковое сопло Лаваля со степенью расширения $\frac{F_{C1}}{F_{C*}} = 1,13$

Разработанная система струйных насосов принята для использования в УДП «Мубарекнефтегаз».

Шестая глава посвящена разработке математических моделей режимов работы насосных станций и технико-экономическим расчетам.

Приведена математическая модель режимов работы насосных станций, оборудованных параллельно работающими насосными агрегатами при соединении нескольких индивидуальных напорных трубопроводов в общий.

Рассмотрена система из n разнотипных насосных агрегатов, подключенных посредством индивидуальных напорных трубопроводов к одному общему. В верхнем бьефе насосной станции имеется водовыпускное сооружение, на котором установлены перегораживающие щиты. При поднятых щитах подача производится под горизонт воды верхнего бьефа, а при опущенных – происходит перелив через затвор.

Установившийся режим группы насосных агрегатов, работающих параллельно на общий напорный трубопровод, с учетом зависимости геометрической высоты подъема от режима перелива через щит водовыпускного сооружения и индивидуальных потерь напора при слиянии потоков в месте соединения, может быть описан системой уравнений следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} H_{mi} &= H_r + \Delta H_{ci}(Q_i) + \Delta H_{mi}(Q_c); i = 1 \dots n \\ Q_c &= \sum_{i=1}^n \{QH_i(H_{mi})\}; \\ N_c &= \sum_{i=1}^n \left\{ 9,81 \cdot \frac{Q_i \cdot H_{mi}}{\eta_{Hi} \cdot \eta_{Эi}} \right\}; \\ \mathcal{E}_c &= \int_0^T N_c dt. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где H_{mi} – манометрический напор i -го насосного агрегата; H_r – геометрическая высота подъема воды; ΔH_{ci} – потери напора, определяемые составом работающих агрегатов и соответствующим режимом слияния потоков в начале общего напорного трубопровода; $\Delta H_{mi}(Q_c)$ – функциональная зависимость потерь напора в общем напорном трубопроводе от расхода воды; Q_i – подача i -го насосного агрегата; Q_c – суммарная подача группы насосных агрегатов; $QH_i(H_{mi})$ – функциональная зависимость, определяющая подачу i -го агрегата при напоре H_{mi} , в соответствии с рабочей характеристикой насоса; η_{Hi} – КПД i -го насоса; $\eta_{Эi}$ – КПД i -го электродвигателя.

Потери напора ΔH_{ci} определяются расходами насосных агрегатов и местными сопротивлениями при слиянии потоков. При наличии потоков в обоих боковых трубопроводах крестовины с расходами Q_i и Q_n местные сопротивления рассчитываются по зависимости:

а) боковые агрегаты № 1, № n :

$$\xi_{c(1,n)} = \frac{\Delta P_{(1,n)}}{\rho V_c^2} = 1 + \left(\frac{Q_{(1,n)}}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_{(1,n)}} \right)^2 - 8 \left(\frac{Q_{(1,n)}}{Q_c} \right)^2 \cdot \frac{\left[\frac{Q_c}{Q_{(1,n)}} - \left(1 + \frac{Q_{(n,1)}}{Q_{(1,n)}} \right) \right]^2}{4 - \left(1 + \frac{Q_{(n,1)}}{Q_{(1,n)}} \right) \cdot \frac{Q_{(1,n)}}{Q_c}} - 2 \left(\frac{Q_{(1,n)}}{Q_c} \right)^2 \cdot \frac{F_c}{F_{(1,n)}} \cdot \left[1 + \left(\frac{Q_{(n,1)}}{Q_{(1,n)}} \right)^2 \right] \cdot \cos \alpha \quad (17)$$

б) средние агрегаты № 2 ... № $n-1$

$$\xi_{c(2,\dots,n-1)} = \frac{\Delta P_{(2,\dots,n-1)}}{\rho V_c^2} = 1 + \left(\frac{Q_{(2,\dots,n-1)}}{Q_c} \right)^2 - \left(\frac{Q_{(2,\dots,n-1)}}{Q_c} \right)^2 \cdot \frac{1 + \frac{Q_{(2,\dots,n-1)}}{Q_c}}{\left(0,75 + 0,25 \frac{Q_{(2,\dots,n-1)}}{Q_c} \right)^2} - 2 \left(\frac{Q_{(2,\dots,n-1)}}{Q_c} \right)^2 \cdot \frac{F_c}{F_1} \cdot \left[\frac{1 + \left(\frac{Q_n}{Q_1} \right)^2}{\left(1 + \frac{Q_n}{Q_1} \right)^2} \right] \cdot \left(\frac{Q_c}{Q_{(2,\dots,n-1)}} - 1 \right)^2 \cdot \cos \alpha \quad (18)$$

где $Q_{1,n}$, $Q_{2,\dots,n-1}$, Q_c – соответственно, расходы жидкости притоков к крестовине по левому или правому боковым ответвлениям, по средним проходам и расход в общем трубопроводе; $F_{(1,n)}$, F_c – площади поперечного сечения боковых ответвлений и общего напорного трубопровода; α – угол ответвления; ρ – плотность жидкости; V_c – средняя скорость движения жидкости в общем трубопроводе; $\Delta P_{(1,n)}$, $\Delta P_{(2,\dots,n-1)}$ – потери напора при слиянии потоков на боковых ответвлениях и на средних проходах.

В случае если какой-либо агрегат на боковом ответвлении не работает, потери напора рассчитываются по формулам для вытяжного тройника:

$$\xi_{c(1,n)} = \frac{\Delta P_{(1,n)}}{\rho V_c^2} = 1 + \left(\frac{Q_{(1,n)}}{Q_c} \cdot \frac{F_c}{F_{(1,n)}} \right)^2 - 2 \left(\frac{Q_{(1,n)}}{Q_c} \right)^2 \cdot \frac{F_c}{F_{(1,n)}} \cdot \cos \alpha \quad (19)$$

$$\xi_{c(2,\dots,n-1)} = \frac{\Delta P_{(2,\dots,n-1)}}{\rho V_c^2} = 1 - \left(1 - \frac{Q_{(2,\dots,n-1)}}{Q_c} \right)^2 - 2 \left(\frac{Q_{(2,\dots,n-1)}}{Q_c} \right)^2 \cdot \frac{F_c}{F_{(2,\dots,n-1)}} \cdot \cos \alpha \quad (20)$$

Функциональные зависимости $QH_i(H_{mi})$, $\Delta H(Q_c)$ а также $\eta_i(Q_i)$ являются отображениями фактических рабочих характеристик насосных агрегатов и напорного трубопровода ($Q - H$, $Q - \eta$ и $Q_c - H_r$). При исследовании и решении системы уравнений (16) на компьютере функциональные зависимости с достаточной точностью интерполируются при помощи интерполяционной формулы Ньютона.

В диссертации приведен общий алгоритм расчета математической модели и осуществлена проверка точности расчета.

Далее в главе приведено математическое моделирование саморегулирующихся струйных насосов и его основные результаты.

Процессы, происходящие в проточной части саморегулирующихся струйных насосов, описаны следующей системой взаимосвязанных уравнений, описывающих установившийся режим работы насосов для каждой i -ой итерации:

$$\left. \begin{aligned} \Delta H_p &= \frac{H_n + \Delta h + \xi_{\Sigma(H)} \cdot \frac{Q_p^2}{F_{Cl}^2 \cdot 2g}}{\frac{2}{\frac{F_K}{F_{Cl}} - \left(\frac{Q_p}{Q_B}\right)^2} + \frac{\left(\frac{Q_p}{Q_B}\right)^2 \cdot \left(\frac{F_K}{F_{Cl}} - 2\right)}{\left(\frac{F_K}{F_{Cl}}\right)^2} + \frac{\left(\frac{F_K}{F_{Cl}} - 1\right)^2 \cdot \frac{F_K}{F_{Cl}}}{\left(\frac{F_{TP}}{F_K}\right)^2 \cdot 2g}} \\ Q_p &= \sqrt{2g \Delta H_p \cdot \varphi_{Cl} \cdot F_{Cl}} \\ \Delta h &= \xi_c \cdot \frac{Q_p^2}{F_{Cl}^2 \cdot 2g} + \xi_n \cdot \frac{Q_p^2}{(F_K - F_{Cl})^2 \cdot 2g} + \\ &+ \xi_K \cdot \frac{Q_n^2}{F_K^2 \cdot 2g} + \xi_K \cdot \frac{Q_n^2}{\left(\frac{F_{TP}}{F_K}\right)^2 \cdot 2g} \\ F_{Cl} &= F_{Cl} \cdot \bar{S} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Коэффициенты местных сопротивлений ξ_n , ξ_c в регулирующей игле и эластичном сопле переменны — они зависят от относительного закрытия сопла $\bar{S}$.

В качестве математической модели для решения данной задачи выбрана полная квадратичная математическая модель, которая устанавливает аналитическую зависимость целевой функции от параметров:

$$Y_T = f(x_1, \dots, x_n) \quad (22)$$

Значения $\bar{S}$ меняются в пределах от 0 до 1, однако, при закрытии сопла более чем на половину расход рабочей жидкости резко уменьшается из-за чрезмерных потерь, поэтому граничными условиями приняты значения $\bar{S}_1 = 0$ и $\bar{S}_n = 0,6$.

Для определения коэффициентов математической модели формируется нормальная система линейных уравнений вида:

$$\alpha b = c, \quad (23)$$

где α — информационная матрица; b — матрица правых частей уравнений; c — матрица искомых коэффициентов математической модели.

Информационная матрица и матрица правых частей уравнений определяются по матричным выражениям:

$$\alpha = f_i f_j \quad (24)$$

$$c = f_i Y_j \quad (25)$$

где f — матрица независимых регрессионных функций, которая может быть построена на основе нормированной матрицы исходного плана x в соответствии со структурой регрессионных функций, входящих в математическую модель.

Искомые коэффициенты модели b находились из решения системы линейных уравнений (23). Проверка математической модели на адекватность производилась путем сопоставления экспериментальных и теоретических значений целевой функции Y_{Σ} и Y_T .

Для решения системы уравнений (23) был применен итерационный метод Гаусса с введением коэффициентов местных сопротивлений в вычислительный процесс. В качестве исходного плана для выбора моментов ввода коэффициентов местных сопротивлений был выбран ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП). Его реализация предполагает, что в области факторного пространства, формируется матрица плана эксперимента X , содержащая N_0 строк, и для каждой i -ой строки матрицы рассчитывается установившийся режим работы саморегулирующихся струйных насосов и определяется экспериментальное значение целевой функции Y_{Σ} . После окончания эксперимента получается матрица Y_{Σ} .

После построения и проверки математической модели на адекватность, определялись искомые оптимальные параметры — моменты ввода в итерационный вычислительный процесс коэффициентов сопротивления сопла. Оптимальные параметры вычислялись как в нормированном виде x^* , так и в именованных единицах x^* , и в этой точке определялись оптимальные теоретические и экспериментальные значения целевой функции Y_T^* и Y_{Σ}^* . Величина Y_T^* рассчитывается с помощью математической модели, а Y_{Σ}^* определяется опытным путем из расчета установившегося режима работы саморегулирующегося струйного насоса. Оптимальные параметры x^* вычислялись из решения системы линейных уравнений, которая формировалась на основе полученных коэффициентов математической модели b . Далее по математической модели вычислялись оптимальное теоретическое значение функции Y_T^* , точка x^* денормируется $x^* \rightarrow x^*$ и из расчета режима определялась Y_{Σ}^* . Адекватность математической модели проверялась в оптимальной точке путем сопоставления величин Y_{Σ}^* и Y_T^* .

Основные результаты математической модели саморегулирующихся струйных насосов с иглой и эластичным соплом представлены соответственно на рисунках 11 и 12 в виде зависимостей напора насоса H_n от относительного открытия сопла $\bar{S}$ при его саморегулировании.

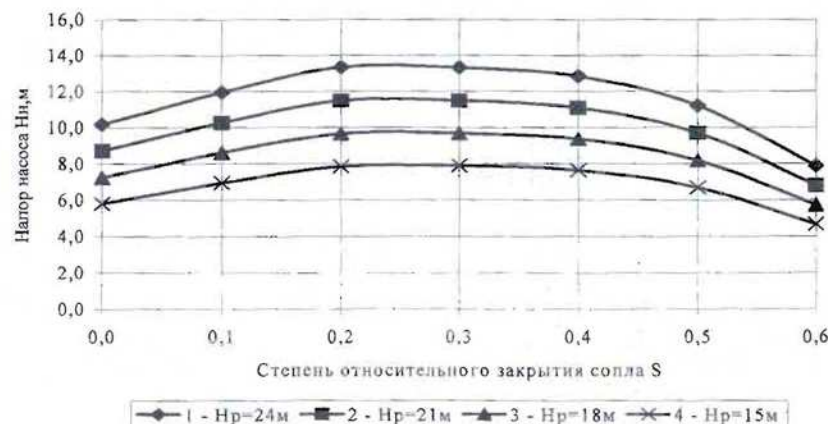


Рис. 11. Зависимость изменения напора H_n саморегулирующегося иглой струйного насоса от относительного закрытия сопла $\bar{S}$ для различных рабочих напоров H_p .

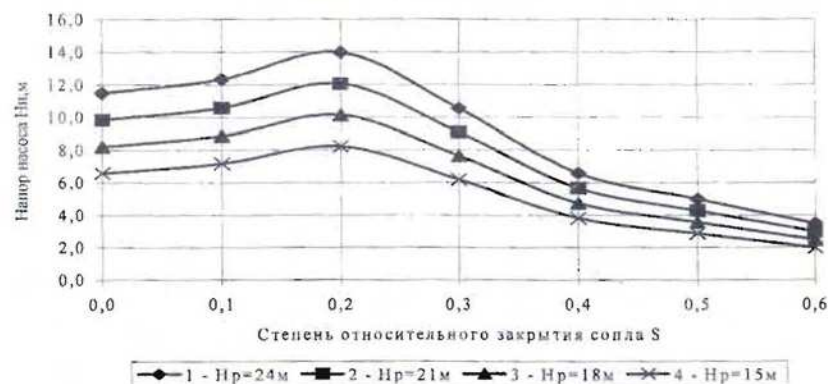


Рис. 12. Зависимость изменения напора H_n саморегулирующегося эластичным соплом струйного насоса от относительного закрытия сопла $\bar{S}$ для различных рабочих напоров H_p .

Экономические расчеты проводились интегрально для насосных станций Узбекистана, на которых возможно внедрение предложенных энергосберегающих разработок, а также определялся ожидаемый экономический эффект от снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения результатов диссертационной работы в масштабе сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей Узбекистана, определенная путем сравнения чистых дисконтируемых доходов, составляет 4,7 млрд. сум в год. Вычисленный индекс доходности, показал, что предложенные мероприятия являются прибыльными.

В седьмой главе приведены результаты натурных и экспериментальных исследований предложенных энергосберегающих методов управления режимами работы насосных станций.

Правильность разработанных методов расчета и эффективность предложенных энергосберегающих мероприятий были проверены натурными испытаниями на насосной станции «Учкара» Навоийского вилоята.

При проведении испытаний перепускного устройства увеличение подачи насосной станции составило в среднем 15%, снижение удельных энергозатрат – 6,5%.

Сопоставление величин снижения удельной мощности по результатам натурального эксперимента на насосной станции «Учкара» и теоретических расчетов на компьютере представлено на рис. 13.

Сравнение результатов математического моделирования и натурных исследований дало близкое их совпадение (расхождение в экстремальных точках не превысило 6%), что подтверждает адекватность разработанных математических моделей исследуемых процессов и достоверность методик моделирования и натурных исследований.

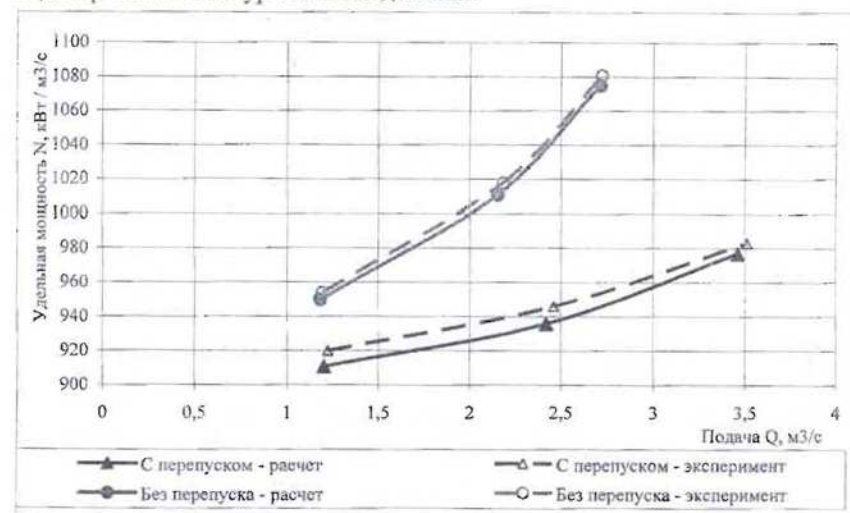


Рис. 13. Сопоставление величин снижения удельной мощности по результатам натурального эксперимента на насосной станции «Учкара» и теоретических расчетов на компьютере.

Также в седьмой главе приведены результаты лабораторных и натурных испытаний струйных насосов.

Результаты проведенных экспериментальных исследований и расчетов приведены на рис. 14. Расхождение значений в экстремальных точках составило менее 5%, что дало возможность получить хорошую сходимость результатов исследований.

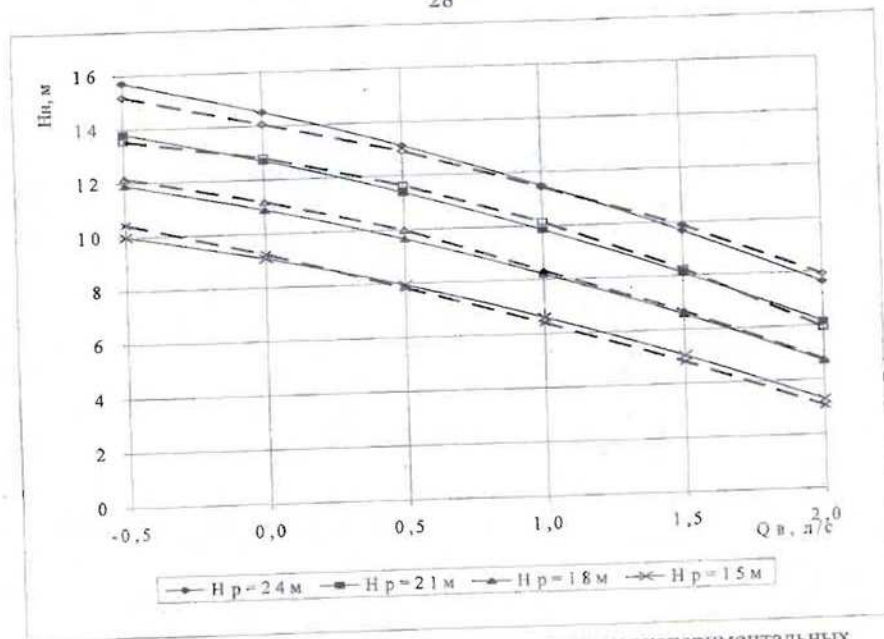


Рис. 14. Результаты сопоставления теоретических и экспериментальных исследований струйного насоса на переменные режимы.
 — результаты теоретических расчетов струйного насоса;
 - - - результаты лабораторного эксперимента.

Была проведена статистическая обработка результатов натурных испытаний системы струйных насосов и установлен доверительный интервал принимаемого значения истинной величины по критерию Стьюдента.

Результаты испытаний струйных насосов позволяют сделать вывод о правильности выбранных коэффициентов местных сопротивлений, используемых при математическом моделировании саморегулирующихся струйных насосов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований сформулированы основные результаты и выводы:

1. Аналитический обзор состояния режимов эксплуатации и энергопотребления насосных станций как крупных потребителей в составе энергетической системы позволил установить, что они не в полной мере отвечают современным, рыночным требованиям энергосбережения. Основным направлением решения обозначенной проблемы на современном этапе должно стать оптимальное управление и регулирование режимов эксплуатации для минимизации потерь энергии во всех элементах насосных станций.

2. Исходя из того, что оптимальное количество ниток напорного трубопровода на насосной станции зависит от соотношения тарифа на электрическую энергию и стоимости напорных трубопроводов, определено, что льготный тариф на электроэнергию для сельскохозяйственных потребителей, существовавший в Узбекистане до 1992 года, привел к тому, что потери электроэнергии на преодоление гидравлического трения в напорных трубопроводах не имели должного значения при технико-экономических расчетах и в результате были существенно занижены как диаметры напорных трубопроводов, так и количество их ниток. В настоящее время большая часть потерь энергии на насосных станциях приходится на напорные трубопроводы.
3. Разработаны методы оптимизации энергопотребления и распределения нагрузки агрегатов крупных и малых насосных станций с центробежными насосами и длинными напорными трубопроводами. Оптимизационные модели решены методом минимакса и методом неопределенных множителей Лагранжа, причем за критерий принят минимум суммарных энергозатрат одновременно работающих насосных агрегатов.
4. На насосных станциях необходимо, в первую очередь, изменять подачу на агрегатах, имеющих меньший относительный прирост мощности на всех таких агрегатах одновременно. После того как возможность их регулирования исчерпается, следует переходить к агрегатам, имеющим больший относительный прирост мощности. Указанные принципы распределения нагрузки обеспечат до 5 % экономии электроэнергии.
5. Выявлена область применения регулируемого электропривода на насосных станциях с длинными трубопроводами по их энергогидравлическим параметрам. Определена зависимость изменения частоты вращения насосного агрегата, которая обеспечивает поддержание минимальных значений напора насосной станции во всем диапазоне изменения её подачи, благодаря чему энергопотребление насоса уменьшается до необходимого минимума.
6. Разработан способ регулирования, снижающий потери энергии в трубопроводах насосных станций за счет установки перепускного сооружения. Основное принципиальное отличие способа регулирования перепуском от других заключается в том, что в данном случае регулирование происходит в сторону увеличения подачи насосной станции. Регулирование режимов работы осуществляется за счет изменения гидравлического сопротивления дроссельного устройства, установленного на перепуске. При соответствующих компоновках насосных станций энергосбережение может составлять от 5 до 20%.
7. Разработаны математическая модель и метод управления режимами насосных станций, уменьшающий потери энергии на насосных станциях на которых два и более насосных агрегата работают параллельно. При этом определяются потери напора в крестовине и затраты мощности на преодоление потерь в местных сопротивлениях в каждом насосном агрегате. Разработанный метод позволит обслуживающему персоналу назначать режимы с минимальными потерями электроэнергии и экономить до 3% потребляемой электроэнергии.

8. Разработан способ управления режимами вспомогательных дренажных систем насосных станций, в том числе при полном погашении электроэнергии. Способ осуществляется как для высоконапорных, так и для низконапорных насосных станций путем использования потенциальной энергии столба жидкости напорного водовода станции, а в качестве устройства для его реализации используются саморегулирующиеся струйные насосы и их последовательно-параллельные системы.
9. Для нефтегазовых трубопроводных систем, в которых существуют потоки природного и низконапорного попутного нефтяного газа разработана система последовательно-параллельного соединения струйных насосов для утилизации нефтяного газа. Система струйных насосов является альтернативой дорогостоящих дожимных компрессорных станций, при этом нет никакого отрицательного воздействия на окружающую среду; не требуется затрат дополнительной энергии извне. По разработанным методикам определены оптимальные конструкции струйных насосов для условий утилизации попутного нефтяного газа месторождения Кокдумалак.
10. Результаты работы внедрены в практику эксплуатации ряда насосных станций. Выполненные комплексные экспериментальные исследования подтвердили адекватность разработанных методов и математических моделей.
11. Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения результатов диссертационной работы в масштабе сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей республики, определенная путем сравнения чистых дисконтируемых доходов, составляет в среднем за пять лет 4,7 млрд. сум. Вычисленный индекс доходности $PI = 9,1 > 1$, показывает, что предложенные мероприятия являются прибыльными.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Монографии и статьи в научных журналах.

1. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Влияние соединения напорных водоводов на режимы работы насосных станций // Мелиорация и водное хозяйство. – М., 2001. – № 1 – С. 19–21.
2. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Определение оптимального количества напорных трубопроводов мелиоративных насосных станций // Сельское хозяйство Узбекистана. – Ташкент, 2001. – № 1 – С. 38–39.
3. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Саморегулирующиеся струйные насосы // Гидротехническое строительство. – М., 2001. – № 4 – С. 25–27.
4. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Перепускные устройства как эффективное средство защиты от гидравлического удара // Гидротехническое строительство. – М., 2001. – № 5 – С. 33–35.
5. Хохлов В.А., Коревицкий Г.А. Исследование саморегулирующихся струйных насосов // «Энергетика». Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – Минск, 2001. – № 4 С. 110–114.
6. A.V. Khokhlov, V.A. Khokhlov. Self-regulating jet pumps. // Hydrotechnical Construction. – Kluwer, Nederland, 2001. Vol. 35 No 4, April.
7. A.V. Khokhlov, V.A. Khokhlov. Transfer Pipes as a Good Means of Preventing Hydraulic Shocks. // Hydrotechnical Construction. – Kluwer, Nederland, 2001. Vol. 35 No 5, May.
8. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Применение струйных насосов в дренажных системах насосных станций // Техника в сельском хозяйстве. – М., 2002. – № 6 – С. 21–23.
9. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Возможности снижения потребления электроэнергии на насосных станциях // Гидротехническое строительство. – М., 2002. – № 9 – С. 28–30.
10. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Утилизация попутных нефтяных газов с применением струйных насосов // Узбекский журнал «Нефти и газа». – Ташкент, 2003. – № 1 – С. 37–39.
11. Хохлов А.В., Хохлов В.А. Снижение гидравлического удара на мелиоративных насосных станциях // Техника в сельском хозяйстве. – М., 2003. – № 3 – С. 42–44.
12. Хохлов В.А. О потерях электроэнергии в напорных трубопроводах насосных станций // Вестник ТашГУ. – Ташкент, 2004. – № 1 – С. 96–100.
13. Аллаев К.Р., Хохлов В.А. Управление энергогидравлическими режимами крупных насосных станций // Вестник ТашГУ. – Ташкент, 2004. – № 3. С. 64–70.
14. Хохлов В.А. Система струйных насосов для станций гидроэнергетических установок // Вестник ТашГУ. – Ташкент, 2004. – № 4 С. 65–71.
15. Аллаев К.Р., Хохлов В.А. Малая гидроэнергетика в условиях энергосбережения Узбекистана // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2005. № 1. С. 25–30.

16. Хохлов В.А. Методы управления энергогидравлическими режимами насосных станций // Гидротехническое строительство. – М., 2005. – № 2 – С. 39-41.
17. Allaev K.R., Khokhlov V.A. Prevention of hydraulic shocks at pumping stations // Вестник ТашГУ. – Ташкент, 2005. – №2 С. 60-66.
18. Хохлов В.А. Система струйных насосов для утилизации попутного газа // Газовая промышленность. – М., 2005. – №3 – С. 45-47.
19. Хохлов В.А. Применение струйных насосов для утилизации нефтяных газов // Нефтяное хозяйство. – М., 2005. – №3 С. 104-105.
20. Хохлов В.А. Последовательно- параллельное соединение струйных насосов в дренажных системах низконапорных насосных станций // Гидротехническое строительство. – М., 2005. – № – 5 С. 19-21.
21. Хохлов В.А. Выбор оптимальной степени расширения сопел в газовых струйных насосах // Узбекский журнал «Нефти и газа». – Ташкент, 2005. – № 2. С. 41-42.
22. Хохлов В.А. Натурные испытания дренажной системы насосных станций // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2005 – № 2-3 – С. 24-30.
23. Хохлов В.А. Экономия электроэнергии на насосных станциях с параллельно работающими насосными агрегатами // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2005 – № 3 – С. 59-62
24. Хохлов В.А. Энергосбережение на насосных станциях // Сельское хозяйство Узбекистана. – Ташкент, 2005. – № 6 – С. 36.
25. Хохлов В.А. Применение регулируемых асинхронных электродвигателей на малых насосных станциях // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2005 – № 4 – С. 45-53.
26. Хохлов В.А., Абзалов Б.Б. Оптимальное распределение нагрузки между агрегатами малых насосных станций // Техника юлдузлари. – Ташкент, 2006 – № 1 – С. 58-60.
27. Хохлов В.А. Оптимизация режимов работы насосных станций // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2006 – № 2-3 – С. 52-55.
28. Хохлов В.А. Влияние тарифа на электроэнергию на параметры напорных трубопроводов насосных станций // Мелиорация и водное хозяйство. – М., 2006 – № 4 С. 26-28.
29. Аллаев К.Р., Хохлов В.А. Энергосбережение – путь к повышению энергоэффективности насосных станций // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2006 – № 2 – С. 10-28

2. Патенты.

30. Патент UZ № 2373 «Насосная станция». Хохлов А.В., Рахимов Ш.Х., Бакиев А.Р., Халматов В.А., Хожиев Ш.С., Хохлов В.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома». – 1995. – № 1.
31. Патент UZ № 3626 Способ удаления фильтрационных и дренажных вод из помещения насосной станции и система для его осуществления. Хохлов

- А.В., Колесников Ю.А. Хошимов Х.Х., Хохлов В.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома». – 1996. – № 2.
 32. Патент UZ № 4380 Способ изменения производительности насосной станции. Хохлов А.В., Хохлов В.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома». – 1997. – №2.
 33. Патент № 4778 Водоподъемная установка для вертикальных скважин. Хохлов А.В., Саидов К., Любавченко В.Б., Хохлов В.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома». – 1997. – №4.
 34. Патент UZ № IDP 04305 Струйный насос. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Хошимов Х.Х., Суванов А.С. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома». – 2000. – №2.
 35. Патент UZ № IDP 04411 Струйный насос. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Любавченко В.Б., Маджидов У.Х. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома». – 2000. – №4.
 36. Патент UZ № FAP 00180 Система насосов. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Хохлов А.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» – 2004 – №1.
 37. Патент UZ № AP 03670 Система для удаления фильтрационных и дренажных вод из помещения насосной или гидроэлектрической станции. Хохлов А.В., Хохлов В.А., Хохлов А.А. / Бюл. «Расмий Ахбаротнома» – 2008 – №5.
3. Статьи в сборниках научных трудов и тезисы докладов.
38. Хохлов В.А., Гафаров Э.Э. Новые разработки при проектировании гидроэлектростанций / В сб. тезисов «Молодежь в развитии науки и техники» / ТашГУ. – Ташкент, 2001. – №1. – С. 29.
 39. Хохлов В.А. Норматив энергопотребления насосов и насосных станций. / В сб. науч. тр. «Интеграция науки, образования и производства» Ташкент, 2005. С. 293-297.
 40. Хохлов В.А., Хидиров А.А. Снижение потерь энергии на насосных станциях. / В сб. тезисов «Молодежь в развитии науки и техники» / ТашГУ. – Ташкент, 2005. – №1. – С. 31-33.

Техника фанлари доктори илмий даражасига талабгор Хохлов В.А.
05.14.01 – «Энергетика тизимлари ва жамуалари» ихтисослиги бўйича
«Узун қувурли насос ва насос станцияларни энергия тежовчи
иш ҳолатлари» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: энергия тежаш, энергия истеъмоли, насос станциялари, насослар, қувурлар, самарадорлик, иш ҳолати, оптимизация, ростлаш, бошқариш, математик модел.

Тадқиқот объектлари: энергетик тизим таркибидаги йирик истеъмолчилардан бўлган қишлоқ хўжалиги ва нефть-газ насос ва насос станциялари.

Ишнинг мақсади: диссертация ишининг мақсади узун қувурли насос ва насос станцияларни илмий жиҳатдан асосланган энергия тежовчи иш ҳолатларини назарий ва тажрибада тадқиқ қилиш.

Тадқиқот усули: электроэнергетик ва гидравлик тизимлари математик моделлаш усули, минимакс усули ҳамда Лагранжнинг ноаниқ кўпайтирувчилар усуллари, экспериментни марказий композицион лойиҳалаш усули. Математик моделлаш насос станцияларида лаборатория тадқиқотларида ва амалдаги ускуналарда текширилиб кўрилган.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: босимли узун қувурлар билан жиҳозланган насос ва насос станцияларининг энергогидравлик иш ҳолатлари учун математик модел, ҳисоблаш алгоритми ва оптимал иш ҳолатлари ишлаб чиқилган; насос станцияларининг босимли қувурларда жумладан узатишни оширишга қаратилган исрофни камайтиришга асосланган энергия тежовчи иш ҳолатларини ростлаш усуллари ва жиҳозлари ишлаб чиқилган; станцияларни босимли қувурларидаги суюқлик устунини потенциал энергиясидан ҳамда ўз-ўзини ростловчи оқимли насослардан фойдаланиб дренаж сувларини чиқариб олиш усули асосланган; оқимли насослар ёрдамида нефть газларини утилизациялашдаги иш ҳолатларини бошқариш параметрлари асосланган; қишлоқ хўжалиги ва нефть-газ соҳаларининг насос станцияларидаги оқимли насослар учун кетма-кет – параллел иш ҳолатларини ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган.

Амалий аҳамияти: тадқиқот натижаларидан фойдаланиш электр энергия истеъмолини режалаштириш, энергогидравлик жиҳозларини унумли ишлатилиши, амалдаги қишлоқ хўжалиги ва нефть-газ насос станцияларда исрофлар манбаига ва уларни камайтириш усулларида баҳо бериш имконини берди.

Тадбиқ этиш даражаси ва самарадорлиги: энергия тежамкорлик бўйича илмий изланишлар натижалари ва ўз-ўзини ростловчи оқимли насослари Наманган, Андижон, Самарканд, Навоий, Қашқадарё вилоятининг ва Жиззах каскади 20 дан ортиқ насос станцияларида тадбиқ этилди. Нефть газларини утилизация қилиш бўйича тадқиқот натижаларидан «Мубарекнефтьгаз» УШКСида ҳам фойдаланилаёпти. Илмий иш натижаларини тадбиқ этишдан қулайлаётган соф фойда 4,7 млрд. сўмни ташкил этади. Насос станциялари, энергетика ва алоқа бошқармалари томонидан тадбиқ этилган иш натижалари бўйича тасдиқланган иқтисодий самарадорлик йилига 100 млн. сўмни ташкил этади.

Кўлланиш (фойдаланиш) соҳаси: қишлоқ ва сув хўжалиги, нефть-газ соҳаси, электрэнергетика тизими.

РЕЗЮМЕ

диссертация Хохлова В.А. на тему «Энергосберегающие режимы работы насосов и насосных станций с длинными трубопроводами», на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.01. «Энергетические системы и комплексы»

Ключевые слова: энергосбережение, энергопотребление, насосные станции, насосы, напорные трубопроводы, эффективность, режим, оптимизация, регулирование, управление, математическая модель.

Объекты исследования: насосы и насосные станции сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей как одни из крупнейших потребителей электроэнергии в составе энергетической системы.

Цель работы: теоретические и экспериментальные исследования и разработка научно-обоснованных энергосберегающих режимов насосов и насосных станций с длинными трубопроводами.

Методы исследования: методы математического моделирования энергетических и гидравлических систем, метод минимакса и метод неопределенных множителей Лагранжа, метод центрального композиционного планирования эксперимента. Методы расчета, проверены лабораторными и натурными экспериментальными исследованиями на действующих насосных станциях.

Полученные результаты и их новизна: разработаны математические модели, алгоритмы расчета и определены оптимальные энергогидравлические режимы работы насосов и насосных станций с длинными напорными трубопроводами; разработаны методы и средства энергосберегающего регулирования режимов работы насосных станций, основанные на принципах снижения потерь энергии в напорных трубопроводах; обоснован способ откачки дренажных вод с использованием потенциальной энергии столба жидкости напорного трубопровода станции и саморегулирующихся струйных насосов; обоснованы параметры, по которым производится управление режимами утилизации нефтяных газов с помощью струйных насосов; разработан метод расчета режимов последовательно-параллельной работы системы струйных насосов для сельскохозяйственных и нефтегазовых насосных станций.

Практическая значимость: использование результатов исследований даст возможность планировать потребление электроэнергии, производить оценку качества эксплуатации энергогидравлического оборудования, оценивать источники потери энергии и способы их снижения на действующих насосных станциях сельскохозяйственной и нефтегазовой отраслей.

Степень внедрения и экономическая эффективность: результаты научных исследований по энергосбережению и саморегулирующиеся струйные насосы внедрены более чем на 20 насосных станциях Наманганского, Андижанского, Самаркандского, Навоийского, Қашқадарьинского вилоятлари ва Жиззах каскада, исследования по утилизации попутных нефтяных газов используются в УДП «Мубарекнефтьгаз». Ожидаемый экономический эффект составляет 4,7 млрд. сум в год. Подтвержденный Управлением насосных станций, энергетике и связи экономический эффект от уже внедренных разработок составляет 100 млн. сум в год.

Область применения: сельское и водное хозяйство, нефтегазовая отрасль, электроэнергетическая система.

RESUME

Thesis of V. Khokhlov on a scientific degree competition of the doctor of sciences
in technical speciality 05.14.01. « Power systems and complexes»

subject «Power saving operating modes of pumps and pumping stations with long pipelines»

Key words: power saving, power consuming, pumping stations, pumps, pressure pipelines, efficiency, a mode, optimization, regulation, management, mathematical model.

Subjects of the inquiry: Pumping stations and sets of agricultural and oil-and-gas branches as one of the largest consumers of the electric power in structure of a power system.

Aim of the inquiry: theoretical both experimental researches and development scientifically-grounded power saving modes of pumps and pumping stations with long pipelines.

Method of inquiry: methods of mathematical modelling of electropower and hydraulic systems, a method of a minimax, a method of Lagrangian uncertain multipliers, method of the central composite planning of experiment. The methods of calculation are checked up by laboratory and natural experimental researches at working pumping stations.

The results and their novelty: mathematical models and algorithms of calculation and optimum powerhydraulic operating modes of pumps and pumping stations equipped with long pressure pipelines are developed; methods and sets of power saving regulation of operating modes of pumping stations based on principles of power waste reduction in pressure pipelines are developed; the way of drainage water pumping with use of potential energy of a column of liquid in the station pressure pipeline and self-regulating jet pumps is proved; the parameters of management of passing oil gases recycling modes with the help of jet pumps are proved; the method of calculation of modes of serial-parallel operation of the system of jet pumps for pumping stations of agricultural and oil-and-gas branches is developed.

Practical value: use of the results of the researches will enable to plan electric energy consumption, to make an estimation of powerhydraulic equipment operation quality, to estimate the power waste sources and ways of their reduction at the working pumping stations of agricultural and oil-and-gas branches

Degree of embed and economic effectivity: the results of scientific researches on power saving and self-regulating jet pumps are introduced at more then 20 pumping stations of Namangan, Andizhan, Samarkand, Navoi, Kashkadaria regions and of the Dzhizak cascade; the results of researches of passing oil gases recycling are used in UDE "Mubarekneftgas". Expected economic efficiency of the thesis results averages 4,7 billion sum a year. Confirmed with Administrations of pumping stations, power and communication economic benefit of already introduced results makes up the about 100 million sum in a year.

Sphere of usage: agricultural and water industry, oil-and-gas branch, electrical power system.

B. Khokhlov

Подписано к печати 20.01.2009 г. Формат 60x84 1/16.
 Усл. п. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ № 15.

Отпечатано в типографии ТГТУ. г.Ташкент,
 ул.Талабалар 54. тел: 246-63-84.