

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 621.644.052-83

**Автушенко
Николай Александрович**

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ
ОБЪЕКТОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Минск 2010

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусско-Российский университет» на кафедре «Электропривод и АПУ».

Научный руководитель: Ленеvский Геннадий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электропривод и АПУ»

Официальные оппоненты: Фираго Бронислав Иосифович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета;

Оганезов Игорь Азизович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Экономика и организация предприятий АПК» УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Оппонирующая организация: Научно-исследовательское и проектное республиканское унитарное предприятие «БелТЭИ»

Защита состоится « 1 » октября 2010 г. в 10 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.02 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, БНТУ, корпус 2, аудитория 201, тел. (8-017) 292-71-63.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Белорусского национального технического университета.

Отзывы на автореферат диссертации в двух экземплярах просим высылать на адрес университета и предварительно отправлять по факсу (8-017) 292-91-37 (для стран СНГ (8-10-375-17)-292-9137) на имя председателя Совета по защите диссертаций Ф.А. Романюка.

Автореферат разослан « » _____ 2010 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, доктор технических наук

И.И. Сергей

© Автушенко Н.А., 2010
© БНТУ, 2010

ВВЕДЕНИЕ

В условиях постоянного повышения стоимости энергоносителей остро стоит проблема повышения энергоэффективности производства. В этой связи энергосистема Республики Беларусь идет по пути укрупнения систем теплоснабжения и горячего водоснабжения (ГВС). В такой ситуации тепловая нагрузка передается от районных котельных к ТЭЦ. Подобный подход позволяет уменьшить число источников тепловой энергии, однако значительно увеличивает протяженность магистральных трубопроводов (МТП), что ведет к существенным изменениям гидродинамических свойств системы и требует новых подходов в исследовании и управлении электроприводами исполнительных механизмов в системах ГВС.

Трудоёмкость исследований заключается в том, что объект управления (ОУ) является системой с распределенными параметрами, характеристики которого зависят от физических свойств рабочей жидкости (РЖ) и протяженности объекта. Источник ГВС представляет собой двухуровневую систему повышения давления в сетевом контуре (СК).

Участок МТП между павильоном П2 и ТЭЦ – объект исследования, построен ранее и является связующим между ТЭЦ и строящимся МТП. Данный участок МТП является практически прямым, что позволяет наиболее полно исследовать его гидродинамические свойства, а также исследовать влияние на гидравлические режимы МТП различных законов управления электроприводами (ЭП) исполнительных механизмов.

Выбор рациональных параметров электроприводов насосных агрегатов (НА) СК позволит увеличить срок службы ОУ путем предотвращения скачков давления в магистральном трубопроводе, увеличит срок службы асинхронных двигателей (АД) и НА, позволит получить экономический эффект.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. Диссертационная работа соответствует приоритетным направлениям прикладных научных исследований и приоритетным направлениям научно-технической деятельности в области энергосбережения. Исследования и полученные в работе результаты относятся к проекту «Магистральная тепловая сеть от павильона П2 по Гомельскому шоссе до котельной №1 по ул. Калужской, 44 в г.Могилеве». Работа выполнена вне проектов, имеющих госрегистрацию.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка структуры и синтез системы автоматического управления электроприводами насосных агрегатов магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения для улучшения эксплуатационных характеристик горячего водоснабжения.

Задачи исследования:

– разработка методик расчета и математического описания магистральной

трубопроводной системы горячего водоснабжения как объекта с распределенными параметрами;

- разработка структуры и расчет параметров системы автоматического управления электроприводами объектов горячего водоснабжения;

- разработка методики синтеза системы автоматического управления электроприводами насосных агрегатов магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения;

- математическое моделирование существующих систем автоматического управления электроприводами объектов горячего водоснабжения;

- математическое моделирование синтезированной системы автоматического управления электроприводами насосных агрегатов магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

- определение оптимальной структуры системы автоматического управления электроприводами насосных агрегатов магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения;

- математическое описание магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения как объекта с распределенными параметрами;

- критерии выбора регулятора давления системы автоматического управления магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения;

- синтез системы управления электроприводами насосных агрегатов магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения как объекта с распределенными параметрами.

Личный вклад соискателя. Получена математическая модель магистральной трубопроводной системы ГВС как системы с распределенными параметрами [1–А], [3–А], [6–А], [12–А], [15–А], [16–А], [19–А], разработана инженерная методика и алгоритм упрощения математического описания источников ГВС и МТП [2–А], [4–А], [5–А], [16–А], исследовано распределение резонансных частот МТП для различной протяженности [7–А], [8–А], сформулирован критерий выбора регулятора давления в МТП для различного количества резонансных частот рабочего диапазона, предложена методика синтеза системы автоматического управления (САУ) электроприводами насосных агрегатов МТП ГВС [9–А], [10–А], [11–А], [22–А], [23–А]. При этом научным руководителем определено направление изысканий и принято участие в разработке некоторых элементов математической модели. Другими соавторами публикаций исследованы вопросы, не включенные в диссертацию.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований, включенные в диссертацию, представлены на четырех международных научно-технических конференциях и трех республиканских научно-технических конференциях.

Опубликованность результатов диссертации. В соответствии с пунктом 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий по теме диссертации опубликовано 19 работ, в том числе 11 научных ста-

тей общим объемом 5,3 авторского листа, 8 тезисов докладов.

Помимо данных работ опубликовано 3 тезиса докладов в различных сборниках материалов научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем работы состоит из 122 листов, в том числе 39 рисунков на 15 страницах, 8 таблиц на 3 страницах, библиографического списка из 171 наименования на 12 страницах, списка 23 публикаций соискателя на 3 страницах, 8 приложений на 24 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, отмечены научная новизна, практическая ценность результатов проведенных исследований, перечислены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Рациональное построение САУ ЭП насосных агрегатов при их воздействии на объект управления позволяет улучшить его эксплуатационные характеристики (снижает амплитуду колебаний давления в конечной точке МТП).

Возникновение колебаний в системе ЭП-НА-МТП обусловлено тем, что МТП являются объектом с распределенными параметрами. Изменение давления в любой точке МТП вызывает волну, распространяющуюся со скоростью, определяемой скоростью звука в РЖ, жесткостью и конструктивными особенностями трубопровода. Колебания давления возникают также при наличии в МТП замкнутых контуров, местных сопротивлений и т.д.

Снижение колебаний давления в магистральной трубопроводной системе (МТС) ГВС может быть получено с помощью самонастройки регуляторов САУ ЭП. Оптимизация параметров регулятора давления САУ ЭП позволяет исключить колебания в трубопроводе при относительно высоком быстродействии САУ. Наиболее перспективным направлением решения проблемы устранения гидравлических ударов и колебаний давления в МТП ГВС является создание новых, отличных от традиционных по своей структуре, самонастраивающихся регуляторов, имеющих высокое быстродействие и не зависящих в работе от пространственных параметров трубопровода, учитывающих его схему включения и возможное изменение.

Основным параметром, определяющим структуру регулятора давления, является количество резонансных частот ОУ в рабочей области и их значение. Для построения САУ ЭП МТС ГВС с использованием самонастраивающихся регуляторов давления РЖ необходимо тщательно исследовать объект управления, его статические, гидродинамические и частотные свойства.

В первой главе выполнен аналитический обзор литературы по теме, развернутое обоснование выбора направления исследований и изложение общей концепции работы.

В магистральных трубопроводных системах (МТС) ГВС выделяют следующие способы регулирования:

– Автоматическое регулирование – регулирование с помощью автоматизированного электропривода.

– Регулирование задвижками электрифицированными и с ручным приводом – системы с ручным управлением, управляемые оператором, что приводит более чем к двукратному увеличению потерь мощности в сравнении с регулированием скорости АД НА.

1. В настоящее время используются следующие структуры построения автоматизированного электропривода.

1.1 Структура прямого пуска АД. Недостатком данного варианта является невозможность осуществления плавного пуска, плавного регулирования, контроля загрузки, непрерывного регулирования контролируемой координаты.

1.2 Структура включения многодвигательного электропривода с одним преобразователем частоты (ПЧ), позволяющая осуществлять последовательный управляемый (плавный) пуск каждого АД, сопровождение работы АД по загрузке с поддержкой регулируемой координаты по одному из АД. Недостатком данного варианта является наличие дополнительного числа переключений в силовой цепи, снижающих надежность работы электропривода.

1.3 Структура включения группового регулируемого электропривода (управление группой АД от одного ПЧ). Позволяет осуществлять управляемый пуск каждого АД, сопровождение работы АД по загрузке в пределах группы, дает возможность контролировать требуемую координату с помощью каждой группы, управлять процессом в магистральном трубопроводе.

Неоспоримым преимуществом такого управления по отношению к предыдущим является наличие резервных групп и в общей структуре, наличие резервных АД в пределах группы. Однако схема становится сложнее.

Варианты 1.2 и 1.3 при переходе в новый установившийся режим имеют возможность регулирования в диапазоне не более $\pm 10\%$ от номинального расхода и предполагают следующий алгоритм работы. Все НА запускаются в номинальном (нерегулируемом) режиме – становятся в «базу», а последний НА догружает систему до требуемых параметров. При этом, при регулировании одного из группы НА зона совместной работы группы нерегулируемых НА с регулируемым мала. Таким образом, используя 61,5% мощности установки, достигается не более 25% производительности, что является неэкономичным.

1.4 Структура индивидуального включения регулируемого электропривода подразумевает наличие ПЧ для каждого АД. Бесспорно, такая структура включения является наиболее дорогостоящей, но обеспечивает селективность в работе, имеется полноценный резерв, позволяет наиболее полно использовать ПЧ в процессе регулирования с максимальным КПД.

Таким образом, принимается структура индивидуального включения электропривода для последующего анализа вариантов САУ ЭП МТС ГВС.

Далее рассмотрены варианты построения систем автоматического управления ЭП магистральных трубопроводных систем горячего водоснабжения.

В системе управления выполняется контроль координат. Исходя из условия качественного регулирования, рассмотрены следующие координаты: температура, расход, давление. Анализ вариантов показал, что наиболее предпочтительной регулируемой координатой является давление.

2. В литературе описаны следующие варианты построения САУ ЭП МТС ГВС, представленные на рисунке 1.

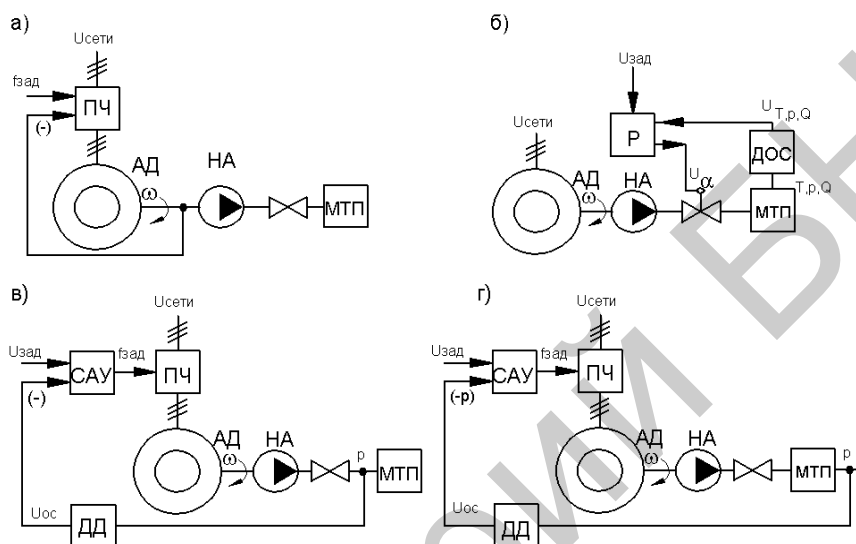


Рисунок 1 – ПЧ-АД с заданием скорости АД как функции давления (а); ЭП задвижки с регулированием давления в МТП как функции технологического параметра в заданной точке МТП (б); САУ на базе автоматизированного электропривода с ПЧ-АД с контролем давления за задвижкой после НА (в); САУ ЭП НА с обратной связью по давлению в искомой точке МТП (г)

2.1 ПЧ-АД с заданием скорости АД как функции давления (рисунок 1, а). Обратная связь организована по скорости АД. Изменение скорости происходит от приложенных статических сил, зависящих от гидравлического режима системы. Цель регулирования – стабилизация давления, которое необходимо периодически корректировать вручную, так как отсутствует обратная связь по давлению МТП, параметр является расчетным.

2.2 ЭП задвижки с регулированием давления на входе в МТП как функции технологического параметра в заданной точке МТП (рисунок 1, б). Регулирование осуществляется путем изменения сечения трубопровода, например, изменение температуры теплоносителя пропорционально степени закрытия задвижки. Такое регулирование является неполноценным.

При расчете регуляторов САУ ЭП в литературе для вариантов **2.1, 2.2**, как правило, МТС ГВС представлена как одно-, двух-, трехмассовая расчетная

схема. В качестве математического описания используется статический расчет в виде уравнений Бернулли, Кирхгофа, формул расчета местных и линейных сопротивлений.

2.3 САУ на базе автоматизированного электропривода с ПЧ-АД с контролем давления за задвижкой после НА (рисунок 1, в). При работе группы насосных агрегатов на общий МТП контролируется давление на выходе СК. Давление в конце МТП определяется расчетным путем.

В вариантах **2.1 – 2.3** не контролируется действительное давление в МТП, поэтому они особенно неэффективны при его повреждении, когда объем РЖ резко сокращается или происходит внештатное закрытие задвижки трубопровода, когда давление начинает резко возрастать. Эту проблему возможно решить при построении САУ ЭП НА с обратной связью по давлению в искомой точке МТП

2.4 САУ ЭП НА с обратной связью по давлению в искомой точке МТП (рисунок 1, г). Здесь объект регулирования представляется в виде системы линейных уравнений на базе закона Кирхгофа в операторной форме для различного количества узлов, где зависимость давления от расхода в каждом узле представлена инерционным звеном.

Однако передаточные функции МТП и разработанные на их основе регуляторы давления представлены как сосредоточенные элементы, не учитывающие распределенные свойства МТП. Такая система управления не способна компенсировать резонансные явления в трубопроводе.

Некоторые авторы предлагают учитывать распределенные свойства РЖ в МТП. Цикл статей А.К. Аракеляна, А.В. Шепелина, из встречающихся в литературе, наиболее полно освещает проблему поиска оптимальной структуры и настроек САУ ЭП МТС ГВС. Такая САУ отличается от существующих возможностью учета распределенных свойств МТП. Данная система строится на базе электропривода, обеспечивающего воспроизведение требуемых параметров регулирования технологического процесса.

В данной разработке использованы два способа построения САУ:

- применение оптимальных фильтров для снижения колебаний в МТП путем затягивания процесса регулирования;
- применение финитного управления, когда система переводится из одного стационарного состояния в другое за определенный промежуток времени.

Расчет регуляторов САУ выполняется по методу стандартных коэффициентов Вишнеградского или критериям качества.

К недостаткам данного способа компенсации резонансных явлений относятся:

1 Упрощенное математическое описание МТП, что приводит к потере информации о количестве и распределении резонансных частот.

2 САУ получает информацию о наличии резонансных явлений в трубопроводе только после достижения обратной волной распространения давления задвижки перед НА. Компенсация резонансных явлений в конкретной точке

МТП выполняется расчетным путем на основании данных с датчика давления в начальной точке МТП, полученных с двойным запаздыванием, контроль давления в МТП выполняется расчетным путем.

Во второй главе выполнено математическое описание объекта управления, учитывающее распределенность параметров.

Структура построения магистральных трубопроводных систем ГВС Республики Беларусь носит типовой характер, поэтому в работе предполагается, что полученные решения могут быть использованы для любых МТП ГВС. В качестве примера рассмотрен участок магистральной тепловой сети ТЭЦ-2 – П2 протяженностью 4183,7 м.

В главе выполнено математическое описание статической составляющей давления магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения.

На основании формул расчета местных и линейных сопротивлений, уравнений Кирхгофа и Бернулли выполнен статический расчет давления в трубопроводах СК источника ГВС и исследуемого участка МТП.

Выполнен расчет параметров ГВС ТЭЦ. На основании полученного расчета рассмотрены 45 возможных схем работы СК ТЭЦ, рассмотрены различные варианты работы оборудования СК ТЭЦ. Отклонение расчетных данных от данных оперативного журнала смены составляет 2 %.

Выполнен анализ и расчет статических потерь давления в МТП, при котором учитываются следующие факторы: расход, плотность РЖ, коэффициент шероховатости в МТП, температура РЖ, температура воздуха окружающей среды, протяженность. Наиболее важным из перечисленных параметров является протяженность МТП.

На основании выполненного анализа разработаны инженерные методики статического расчета СК ТЭЦ и МТП для моделирования в среде «MATLAB».

В главе разработано математическое описание поведения РЖ в МТП как системы с распределенными параметрами. На основании уравнений Навье-Стокса в цилиндрических координатах и уравнения неразрывности с учетом допущений получены два уравнения:

$$p_2(s, x) = p_1(s, 0) \cdot ch[\theta(s)l] - (\theta^2(s)B_{TP} \cdot v_1(s, 0)/s) \cdot sh[\theta(s)l], \quad (1)$$

$$v_2(s, l) = v_1(s, 0) \cdot ch[\theta(s)l] - (s \cdot p_1(s, 0)/\theta^2(s)B_{TP}) \cdot sh[\theta(s)l], \quad (2)$$

где $\theta(p)$ – операторный коэффициент распространения возмущений;

B_{TP} – приведенный модуль упругости трубы с жидкостью, x ;

l – текущее и конечное значение длины МТП.

Далее рассмотрено влияние значений коэффициента затухания δ и коэффициента фазы ε – составляющих $\theta(s)$ на характер переходных процессов. Для

дальнейших исследований введены гидравлические сопротивления линии МТП $Z_I(s)$, $Z_{BL}(s)$, используя которые и $\theta(s)$, получена ПФ давления РЖ МТП:

$$W_{МТП}(s, l) = \frac{p_2(s, l)}{p_1(s, l)} = \frac{1}{ch[\theta(s)l] + \frac{Z_{BL}(s)}{Z_I(s)} sh[\theta(s)l]} \quad (3)$$

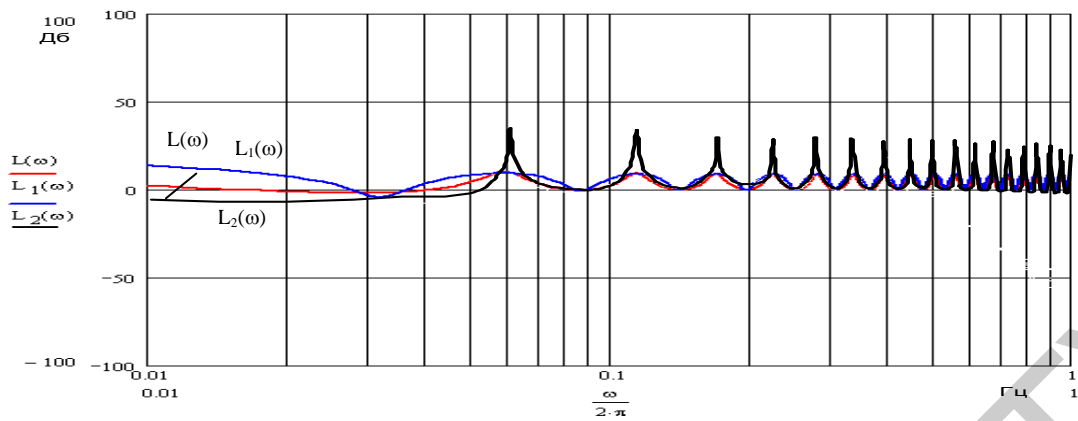
Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) ПФ (3), при введении поправочного коэффициента K , совпадает с ЛАЧХ непреобразованной ПФ давления МТП, полученной из решения уравнений (1) и (2), с погрешностью менее 1 %. В диапазоне длин МТП от 0 до 4183,7 м числитель ПФ не остается равным единице, а колеблется от 1,31 до 0,68, что соответствует практически полному сходству характеристик. Поправочный коэффициент K получен путем анализа и оценки амплитуды ЛАЧХ ОУ различной протяженности. Погрешность расчета не превышает 2%. С учетом коэффициента K ПФ (3) примет вид (5):

$$K = -0,0003l + 1,3084, \quad (4)$$

$$W_1(s, l) = \frac{p_2(s, l)}{p_1(s, l)} = \frac{K}{ch[\theta(s)l] + \frac{Z_{BL}(s)}{Z_I(s)} sh[\theta(s)l]} \quad (5)$$

При $s = j\omega$, ЛАЧХ ПФ (5) имеет вид $L_1(\omega) = 20lg [W_1(j\omega, l)]$. ЛАЧХ $L_1(\omega)$ представлена на рисунке 2.

МТП – объект с распределенными параметрами, имеющий ПФ особого вида. Функция (5) является мероморфной функцией комплексного переменного, следовательно, информация о поведении объекта заключена в ее полюсах. Функция может быть представлена равномерно сходящимся рядом, с увеличением членов ряда их значения стремятся к 0 достаточно быстро. Функция (5) заменяется аппроксимированной в рабочем диапазоне частот в виде бесконечного функционального сходящегося ряда. При этом учитываются погрешность аппроксимации только рабочей частотной области. Аппроксимация выполняется, исходя из условия отсутствия внутреннего демпфирования. Для расчета САУ выполнен анализ частотных характеристик ОУ по ПФ (3). Путем разложения в ряд $th[\theta(s), l]$ получены корни функции (5) для протяженности МТП 4183,7 м для первых 10 резонансов. ПФ (5) примет вид (6), а ЛАЧХ этой ПФ представлена на рисунке 2.



L(ω)– ЛАЧХ непреобразованной ПФ, полученная по (1) и (2)

Рисунок 2 – ЛАЧХ МТП по давлению

$$W_2(s) = \frac{0,371^2 \cdot 0,708^2 \cdot 1,07^2 \cdot 1,404^2 \cdot 1,78^2 \cdot 2,15^2 \cdot 2,5^2}{(s^2 + 0,371^2)(s^2 + 0,708^2)(s^2 + 1,07^2)(s^2 + 1,404^2)(s^2 + 1,78^2)(s^2 + 2,15^2)(s^2 + 2,5^2)} \times \frac{2,83^2 \cdot 3,2^2 \cdot 3,5^2}{(s^2 + 2,83^2)(s^2 + 3,2^2)(s^2 + 3,5^2)} \quad (6)$$

При $s=j\omega$, ЛАЧХ (7) имеет вид $L_2(\omega) = 20 \lg [W_2(j\omega, l)]$.

Рассмотрен случай при $\delta = 0$ (отсутствие естественной компенсации колебаний ОУ). Полученные ЛАЧХ подтверждают совпадение резонансных частот в пределах 1%. Форма ЛАЧХ $L_1(\omega)$ ПФ (5) более точно повторяет форму ЛАЧХ $L(\omega)$, чем ЛАЧХ $L_2(\omega)$ ПФ (6).

Для ЭП насосных агрегатов в системах ГВС применяются АД со скоростью до 1500 об/мин. С учетом конструкционных особенностей крыльчатки НА за один оборот вала двигателя НА создает четыре импульса давления в МТП, что соответствует 6000 пульс/мин, или максимально 100 пульс/с, или 100 Гц. Полученные ЛАЧХ свидетельствуют о том, что колебания имеются во всем диапазоне частот 0–100 Гц и являются незатухающими с одинаковой амплитудой и частотой. Проведенные исследования показали, что количество резонансных частот МТП зависит от длины МТП. Так, для трубопровода длиной до 10 м первая резонансная частота находится за пределами 100 Гц. Для МТП протяженностью свыше 1 км первые резонансные частоты появляются в диапазоне до 1 Гц.

На основании полученных ЛАЧХ $L(\omega)$, $L_1(\omega)$, $L_2(\omega)$ для различной протяженности трубопроводов в диапазоне 10–4183,7 м сформулированы следующие критерии выбора структуры и способа учета резонансных частот в САУ электроприводами насосных агрегатов МТП ГВС:

- при наличии в системе менее пяти резонансов в диапазоне до 100Гц, когда длина трубопровода менее 100м, данные частоты могут компенсироваться ПЧ с помощью функции «частотный байпас»;
- при наличии в диапазоне до 100 Гц от 5 до 10 резонансных частот целесообразно применять регулятор, рассчитанный с помощью ПФ ОУ аналогичной (б), который можно реализовать с помощью стандартных средств;
- в случае, когда длина трубопровода составляет несколько километров и количество резонансных частот в рабочем диапазоне насчитывает несколько десятков, для компенсации резонансных колебаний системы целесообразно использовать регулятор, параметры которого рассчитаны с помощью ПФ (5).

Третья глава посвящена разработке системы автоматического управления электроприводами и синтезу регуляторов технологических параметров магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения

Анализ резонансных явлений в МТП на уровне ЛАЧХ показал, что максимальное количество резонансов наблюдается в конечной точке трубопровода. Таким образом, разрабатывается САУ ЭП НА с обратной связью по давлению в конечной точке МТП. С учетом анализа глав 1 и 2 функциональная схема САУ будет иметь вид, представленный на рисунке 3.

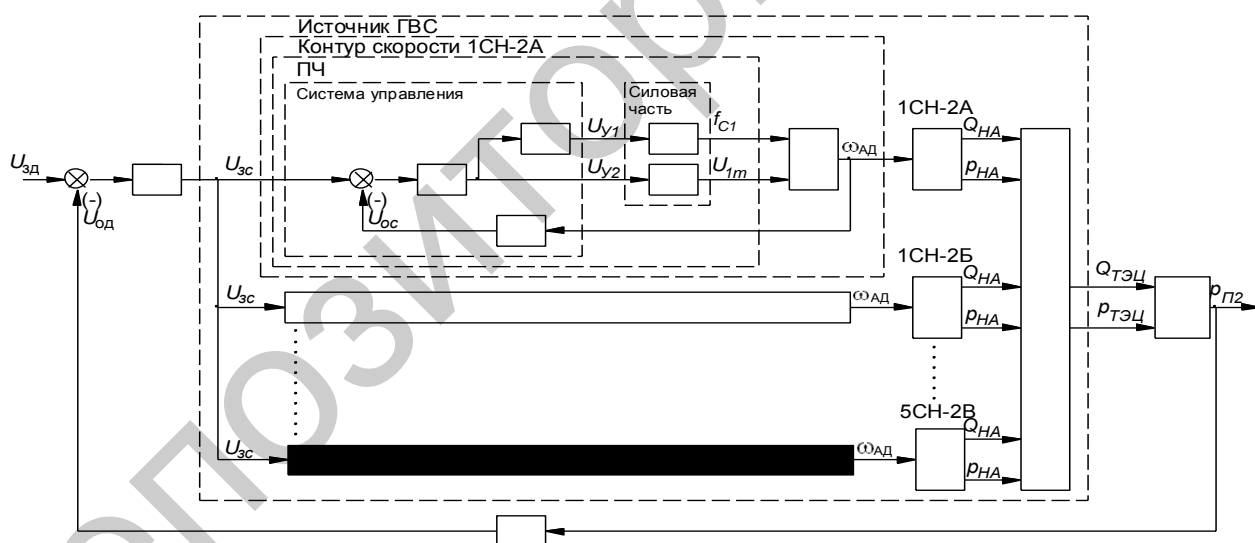


Рисунок 3 – Функциональная схема САУ электроприводами НА МТП ГВС

На рисунке 3 введены следующие обозначения: РД – регулятор давления; РС – регулятор скорости; ФП – функциональный преобразователь; ПН – преобразователь напряжения; ПЧ – преобразователь частоты; ДС – датчик скорости АД; ДД – датчик давления; $U_{зд}$ – напряжение задания давления; $U_{эс}$ – сигнал задания скорости; $U_{од}$ – сигнал обратной связи датчика давления; $U_{ос}$ – сигнал обратной связи датчика скорости; U_{y1} – сигнал задания канала управления

напряжением; U_{y2} – сигнал задания канала управления частотой; U_{1m} – амплитудное значение напряжения статора; f_{c1} – частота статора АД.

В главе выполнен расчет неизменяемой части САУ, в которую входят МТП, НА, СК, АД, ПЧ, ДС, ДД.

Расчет параметров МТП выполнен согласно ПФ (4) и (5).

Для получения ПФ насосного агрегата частично используется расчет А.К. Аракеяна и А.В. Шепелина [Журнал «Электричество», №98/08]. Принято, что волна давления распространяется из одного конца МТП в другой за время τ и отражается с коэффициентом отражения k_0 . Предложенная Аракеяном А.К. и Шепелиным А.В. ПФ содержит степенные функции в числителе и знаменателе, которые раскладываются в степенной ряд; выполняется перерасчет коэффициентов. ПФ примет вид (7):

$$W_H(s) = k_n \frac{-2\tau}{1 - 0,6 \cdot (1 - 2\tau s)}, \quad (7)$$

где k_n – коэффициент линеаризации кривой напора НА от скорости;

τ – время распространения волны в один конец МТП.

Расчет параметров СК выполняется на основе разработанной методики расчета, предложенной в главе 2.

Расчет параметров АД по паспортным данным выполнен с использованием математического пакета Mathcad 11.

При построении структурной схемы и расчета параметров АД рассматриваются 2 варианта: асинхронная машина в осях ХУ теории обобщенной машины с использованием ряда допущений, которая может быть реализована в MATLAB с помощью стандартных блоков Simulink, и готовая модель АД (Asynchronous Machine). Из двух вариантов выбирается модель, выполненная из стандартных блоков Simulink, так как при использовании готового блока MATLAB значительно возрастает время моделирования по сравнению с моделью АД, выполненной с использованием стандартных элементов Simulink. При этом обе модели АД обеспечивают одинаковую точность моделирования.

Одним из основных элементов разрабатываемой САУ ЭП является преобразователь частоты. Для реализации полноценного регулирования используется ПЧ, позволяющий реализовать два канала управления: потокосцеплением ротора и скоростью поля статора. Система управления ПЧ образует каналы управления напряжением и частотой на выходе ПЧ.

В составе преобразователя частоты реализована микропроцессорная система управления частотой вращения электропривода с программной реализацией ПИД-регулятора.

Основным элементом САУ, определяющим полосу пропускания частот, является регулируемый электропривод (ПЧ-АД). При выполнении расчетов использованы технические характеристики ПЧ типа «АВВ» 6кВ, 630 кВт. Для

данного ПЧ полоса пропускания составляет 20 Гц. В соответствии с приведенной частотой среза выполняется оценка быстродействия ЭП как времени реакции отработки единичного управляющего воздействия. Для исследуемого автоматизированного ЭП время отклика составляет $1/20 = 0,05$ с, в то время как общее время переходных процессов в МТС ГВС составляет десятки секунд, что дает возможность использования существующих методик расчета ПЧ и АД.

Датчик скорости реализуется программным путем с помощью стандартных возможностей контроллера ПЧ, то есть скорость АД определяется расчетным путем и представляется пропорциональным звеном.

Датчик давления представляет собой физическое устройство. ПФ датчика обратной связи по давлению представляется пропорциональным звеном.

На основании проведенных исследований и расчетов получена следующая методика синтеза САУ ЭП МТС ГВС, использующая обратную связь по давлению в искомой точке МТП как объекта с распределенными параметрами:

- выбор способа включения и алгоритма управления ПЧ электроприводов НА МТС ГВС, выбор контролируемой координаты;
- расчет параметров неизменяемой части САУ (МТП, НА, СК, АД, ПЧ, ДС, ДД);
- выбор структуры САУ с учетом ОУ как системы с распределенными параметрами. Расчет контура скорости с ПИД-регулятором как одномассовой расчетной схемы;
- расчет параметров регулятора давления с учетом критерия выбора на основе распределения резонансных частот объекта;
- анализ ЛАЧХ рабочего диапазона частот синтезированной САУ.

Основой синтеза САУ ЭП является расчет параметров регуляторов, обеспечивающий снижение колебаний давления в МТП на заданном уровне. При этом главной задачей является компенсация резонансных явлений с помощью регулируемого электропривода. Особое внимание при выполнении синтеза САУ ЭП необходимо уделить возможным явлениям гидроударов.

Характерной особенностью предлагаемой методики является расчет регуляторов на основе синтеза систем подчиненного регулирования координат. При этом синтез регулятора скорости выполняется без учета распределенных свойств объекта управления, а синтез регулятора давления выполняется на основании критерия выбора регулятора, выполненного в главе 2 с учетом анализа ОУ на уровне ЛАЧХ участков МТП различной протяженности.

При синтезе регулятора скорости делается допущение о том, что быстродействие и разрядность канала данных микропроцессорной системы достаточны, чтобы представить регулятор непрерывным динамическим звеном.

Синтез регулятора давления выполняется для ПФ давления в МТП (5) и (6), при этом рассчитывается коэффициент обратной связи по давлению $K_{др}$ и выбирается малая некомпенсируемая постоянная T_{μ} . Внешний контур настраи-

вается на симметричный оптимум, рассчитывается фильтр. ПФ регулятора давления примет вид:

$$W_{\text{РЕГ1}}(s) = \frac{abT_{\mu}s+1}{abT_{\mu}s} \times \frac{K_{\text{ДС}}(T_{\text{НА}}s+1)}{2 \cdot T_{\mu} K_{\text{ДР}} K_{\text{ТЕС}} K_{\text{Г2}} K_{\text{НА}} s} \times \frac{W_1(s)}{0,00001s^2 + 0,0001s + 1}, \quad (8)$$

$$W_{\text{РЕГ2}}(s) = \frac{abT_{\mu}s+1}{abT_{\mu}s} \times \frac{K_{\text{ДС}}(T_{\text{НА}}s+1)}{2 \cdot T_{\mu} K_{\text{ДР}} K_{\text{ТЕС}} K_{\text{Г2}} K_{\text{НА}} s} \times \frac{W_2(s)}{0,00001s^2 + 0,0001s + 1}. \quad (9)$$

Для оценки эффективности полученных регуляторов рассматриваются ПФ для замкнутого контура давления с учетом ПФ МТП (5), (6) и регулятора давления МТП (8), (9), соответственно, построены ЛАЧХ.

Так, САУ ЭП, построенная с использованием регулятора давления (9), не гарантирует компенсацию колебаний во всем рабочем диапазоне частот, в то время как САУ, построенная на базе регулятора давления (8), компенсирует колебательные процессы в МТП во всем рабочем диапазоне частот, что значительно увеличивает устойчивость МТС ГВС.

В главе 4 выполнено математическое моделирование системы автоматического управления электроприводами насосных агрегатов магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения.

На основании полученного математического описания (глава 2, глава 3) разработана математическая модель в среде MATLAB. Модель состоит из следующих блоков: динамической и статической составляющих МТП, ТЭЦ, ТК-9А, электропривода НА, регулятора давления. Все блоки реализованы на основе стандартных блоков SIMULINK.

Выполнено моделирование технологического режима работы МТС ГВС с максимально загруженным технологическим режимом со снятием показаний на различных участках МТП. Для проверки адекватности полученной математической модели ОУ выполнено сравнение полученных результатов с данными оперативных журналов диспетчеров (установившиеся значения) в контрольных точках (ТК-9А и П2), отклонение результатов моделирования от данных оперативных журналов не превышает 2 %.

Исследованы 10 отобранных технологических режимов (схем) с предварительным построением QH-характеристик МТП. Результаты моделирования также совпали с показаниями оперативных журналов диспетчеров ТЭЦ и Могилевских тепловых сетей. Включение НА выполнено согласно технологии.

Верификация созданной математической модели выполнена на основании воспроизведения натуральных испытаний, результаты которых сведены в технический отчет ОАО «Белэнергоремналадка» по гидродинамическим испытаниям в системе теплоснабжения от Могилевской ТЭЦ-2. Испытания своей целью ставили проверку прямого пуска и влияния аварийного отключения перекачивающих НА ТЭЦ на работающий МТП. Результаты моделирования показали, что математическая модель МТС ГВС в среде моделирования MATLAB ведет себя

адекватно, совпадая с результатами натурных испытаний с погрешностью в 1,5 % как по амплитуде, так и по действующему значению.

На уровне математического моделирования выполнен сравнительный анализ существующих САУ МТС ГВС: ПЧ-АД с заданием скорости АД как функции давления (рисунок 1, а); САУ на базе автоматизированного электропривода с ПЧ-АД с контролем давления за СК перед МТП (рисунок 1, в); ЭП клапана с регулированием давления в МТП как функции технологического параметра в заданной точке МТП (рисунок 1, б).

Результаты моделирования показали, что все рассмотренные САУ ЭП выходят на установившееся значение, при этом имеют различные амплитуды колебаний давления при выходе на установившийся режим. При этом САУ на базе ПЧ-АД с контролем давления за СК перед МТП имеет минимальную амплитуду колебаний давления. Анализ амплитуды колебаний ЛАЧХ показал наличие колебаний во всем рабочем диапазоне частот для всех рассмотренных систем. Результаты моделирования существующих САУ подтвердили необходимость синтеза САУ автоматизированных электроприводов НА МТП ГВС как объекта с распределенными параметрами.

Математическое моделирование синтезированной САУ электроприводами НА МТС ГВС с обратной связью по давлению в конце МТП в среде MATLAB выполнено по технологической схеме аналогично рассмотренным ранее САУ. Анализ амплитуды колебаний давления показал минимальную амплитуду колебаний в сравнении с существующими САУ ЭП МТС ГВС, снижение колебаний на 5 % в сравнении с нерегулируемой схемой. Так, допустимое значение колебаний давления по нормам эксплуатации тепловых сетей составляет 2 %. Таким образом, разработанная САУ ЭП значительно уменьшает возможность выхода из «двухпроцентного коридора» колебания давления в МТП ГВС, снижая пиковые нагрузки на механическую часть НА и МТП. При работе САУ наблюдается некоторое колебание скорости АД НА в пределах 1 рад/с, что не снижает устойчивости системы в целом.

Результаты моделирования пуска различных САУ ЭП МТС ГВС (максимальное значение отклонений давления от установившегося значения) сведены в таблицу 1. Таким образом, в сравнении с существующими САУ ЭП МТС ГВС, синтезированная САУ не только выходит на установившееся значение, но при этом имеет наименьшую амплитуду колебаний давления при выходе на установившийся режим. Анализ синтезированной САУ ЭП на уровне ЛАЧХ показал компенсацию резонансных явлений во всем рабочем диапазоне частот.

С помощью синтезированной САУ ЭП МТС ГВС рассмотрена возможность воспроизведения различных законов управления. Разработанная САУ отрабатывает заданные законы изменения давления с требуемой точностью. Математическая модель САУ ЭП МТС ГВС может использоваться для прогнозирования результатов и воспроизведения различных технологических

режимов работы МТС ГВС, позволяет находить оптимальные законы управления в системах теплоснабжения и водоснабжения по критериям перерегулирования и времени переходного процесса.

Таблица 1 - Максимальное значение отклонений давления от установившегося значения при пуске различных САУ ЭП МТС ГВС.

| Наименование САУ | Отклонение давления, МПа |
|---|--------------------------|
| Нерегулируемая МТС ГВС | 0,034 |
| САУ давлением МТП на базе регулятора давления с электроприводным регулирующим клапаном | 0,044 |
| САУ на базе ЭП с ПЧ-АД с заданием скорости АД как функции давления МТС ГВС | 0,033 |
| САУ на базе автоматизированного электропривода с ПЧ-АД с контролем давления за СК перед МТП | 0,03 |
| САУ ЭП с ОС по давлению в конце МТП | 0,024 |

В целом синтезированная САУ ЭП реализуется с помощью широкого спектра стандартных аппаратных средств: АД, ПЧ, НА, датчиков давления. Реализация регулятора внешнего конкурента САУ ЭП затруднительна с использованием стандартных контроллеров, его можно реализовать только с помощью различного программного обеспечения, наиболее рациональным из которого является MATLAB. Для физической реализации разработанной САУ электроприводами НА необходим дополнительный аппаратно-программный комплекс, позволяющий обрабатывать сигналы с датчика пульта, осуществлять обработку сигналов обратных связей и внешних воздействий. Анализ существующих аппаратно-программных средств показал, что наилучшим вариантом воспроизведения синтезированной САУ ЭП НА с реализацией гиперболического регулятора, позволяющего скомпенсировать колебания давления в МТП, в среде MATLAB является аппаратно-программный комплекс компании ICPDAS.

Использование такого аппаратно-программного комплекса позволит управлять посредством MATLAB технологическим процессом в реальном времени и параллельно выполнять диагностику поведения системы при использовании различных режимов работы, позволит улучшить эксплуатационные характеристики МТС ГВС путем выбора рациональных параметров САУ ЭП НА.

Разработанная САУ ЭП позволяет получить экономический эффект. Так, при установке ПЧ на все насосные агрегаты СК второй степени повышения давления и применении синтезированной САУ МТС ГВС на базе математической модели в среде «MATLAB» и аппаратно-программного комплекса ICPDAS стоимость затрат на внедрение составляет 1,72 млрд.руб. Расчетный экономический эффект в год составляет 276,37 млн.руб., срок окупаемости – 5,9 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны методики расчета статической составляющей давления рабочей жидкости и получены передаточные функции МТП как объекта с распределенными параметрами с выявлением резонансных частот, что позволило синтезировать регуляторы САУ ЭП НА с возможностью компенсации колебаний давления в длинных трубопроводах [1-А]–[8-А], [12-А], [15-А]–[16-А], [19-А].

2. Проведен критический анализ СУ электроприводами НА с регулированием давления РЖ, позволивший обоснованно выбрать такую структуру ЭП, которая обеспечивает наилучшие регулировочные свойства по поддержанию давления, как важнейшего параметра ГВС, на заданном уровне в переходных и стационарных режимах длинных МТП.

3. На основе системы электроприводов ПЧ-АД разработана методика САУ электроприводами насосных агрегатов с применением обратной связи по давлению в искомой точке МТП, рассматриваемого как объект с распределенными параметрами. Результаты синтеза САУ использованы при создании имитационных моделей МТС ГВС, которые могут служить рабочим инструментом для прогнозирования и исследования различных технологических режимов [9-А], [10-А], [21-А], [22-А].

4. Выполнено имитационное моделирование прямого пуска электроприводов НА МТС ГВС, результаты которого показали адекватность натурным испытаниям, приведенным специализированной организацией [9-А], [10-А].

5. Получен ожидаемый экономический эффект от внедрения САУ ЭП НА со сроком окупаемости 5,9 г, что соответствует срокам окупаемости от внедрения новых энергоэффективных технологий [11-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработанная математическая модель САУ электроприводами насосных агрегатов МТС ГВС, реализованная в среде моделирования MATLAB, может использоваться для прогнозирования результатов и воспроизведения различных технологических режимов работы МТС ГВС, позволяет находить оптимальные законы управления в системах теплоснабжения и водоснабжения энергетической отрасли.

2. Выполнено внедрение результатов исследований в филиалах РУП «Могилевэнерго» Могилевские тепловые сети и Инженерный центр.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, рекомендуемый ВАК

1–А. Автушенко, Н.А. Математическое описание движения жидкости в трубопроводе с учетом распределенности параметров / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Вестн. МГТУ. – 2006. – №2(11). – С. 7–18.

2–А. Автушенко, Н.А. Тепловой расчет систем магистральных сетей горячего водоснабжения / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 2(11). – С. 19–27.

3–А. Автушенко, Н. А. Построение математической модели системы горячего водоснабжения магистральных трубопроводов в среде MATLAB / Н.А. Автушенко, Г. С. Ленецкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – №2(15). – С. 82–89.

4–А. Автушенко, Н.А. Расчет статической составляющей гидродинамических процессов в магистральных трубопроводах горячего водоснабжения / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – №1 (14). – С. 177–184.

5–А. Автушенко, Н.А. Моделирование источников горячего водоснабжения магистральных трубопроводов в среде MATLAB / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2007. – № 3(16). – С. 123–130.

6–А. Автушенко, Н.А. Расчет гидродинамической составляющей поведения теплоносителя в магистральных трубопроводах горячего водоснабжения / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Механика машин, механизмов и материалов. – 2007. – № 3. – С. 64–66.

7–А. Автушенко, Н.А. Моделирование систем горячего водоснабжения магистральных трубопроводов в среде MATLAB / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – №1 (18). – С. 105–113.

8–А. Автушенко, Н.А. Анализ частотных свойств динамической составляющей поведения теплоносителя в магистральных трубопроводах / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – ЭНЕРГЕТИКА. – 2008. – № 2 (3). – С. 63–67.

9–А. Автушенко, Н.А. Выбор элементов управления насосными агрегатами в системах горячего водоснабжения / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий, Д.С. Каплун // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – №2 (23). – С. 131–139.

10–А.Автушенко, Н.А. Построение систем управления переходными процессами в магистральных трубопроводах горячего водоснабжения / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – № 3 (24). – С. 129–138.

11–А.Автушенко, Н.А. Эффективность управления переходными процессами в магистральных трубопроводах горячего водоснабжения / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленецкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – № 4 (170). – С. 105–113.

Статьи в сборниках научных трудов

12–А.Аvtushenko, N. A. Calculation of parameters of main hot waterway pipelines system / N.A. Avtushenko, G.S. Lenevsky // Journal of Technical University of Gabrovo. – Gabrovo: Technical University of Gabrovo. – 2007. – Vol. 35. – P. 31–35.

Материалы научных конференций

13–А.Автушенко, Н.А. Новые методы автоматизации котельных установок / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский, Л.Г. Черная // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы V Респ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 18–20 марта 2002 г. – Гомель, 2002. – С. 114 – 115.

14–А.Автушенко, Н.А. Влияние изменения емкости коммутирующего конденсатора на надежность коммутации в ШИП при питании от низковольтной аккумуляторной батареи / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: материалы Респ. науч.-техн. конф. – Могилев: МГТУ, 2002. – С. 414.

15–А.Автушенко, Н.А. Математическое описание систем водоснабжения / Н. А. Автушенко // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 15–16 мая 2003 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2003. – С. 562–565.

16–А.Автушенко, Н.А. Математическое описание систем теплоснабжения / Н. А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Респ. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Могилев, 26 янв. 2006 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2006. – С. 212.

17–А.Автушенко, Н.А. Тенденции в развитии систем горячего водоснабжения и их математическая реализация / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20–21 апр. 2006 г.: в 3 ч. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2006. – Ч.2. – С. 175.

18–А.Автушенко, Н.А. Моделирование процессов в ШИП для напольного электротранспорта в MATLAB / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апр. 2007 г.: в 3 ч. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч.2. – С. 204.

19–А. Автушенко, Н.А. Моделирование гидродинамических магистральных систем водоснабжения с распределенными параметрами в среде MATLAB / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апр. 2007 г.: в 3 ч. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч.2. – С. 205.

20–А.Автушенко, Н.А. Моделирование процессов коммутации в ШИП, запитанных от низковольтных аккумуляторов / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материа-

лы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апр. 2007 г.: в 3 ч. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – Ч.2. – С. 206.

21–А.Автушенко, Н.А. Построение систем управления в магистральных трубопроводах горячего водоснабжения / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 17–18 нояб. 2008 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2008. – С. 124.

22–А.Автушенко, Н.А. Анализ гидромеханической части СУЭП систем горячего водоснабжения магистральных трубопроводов / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 апр. 2008 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2008. – Ч.2. – С. 157.

23–А.Автушенко, Н.А. Оценка эффективности внедрения частотных преобразователей в системе сетевых насосных агрегатов источников горячего водоснабжения / Н.А. Автушенко, Г.С. Ленеvский // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 апр. 2009 г.: в 3 ч. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – Ч.3. – С5.

РЕЗЮМЕ

Автушенко Николай Александрович

Анализ и синтез систем управления электроприводами насосных агрегатов объектов горячего водоснабжения

Ключевые слова: магистральный трубопровод, система автоматического управления, электропривод, насосный агрегат, теплоэлектроцентраль, давление, регулятор, теплоноситель, система горячего водоснабжения.

Цель работы – разработка структуры и синтез системы автоматического управления электроприводами насосных агрегатов магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения для улучшения эксплуатационных характеристик горячего водоснабжения.

Методы исследования. Исследования статических и динамических свойств поведения рабочей жидкости магистральных трубопроводных систем выполнены на основе гидродинамики и гидростатики, теории электропривода, электрических машин и теории автоматического управления, энергосбережения, с использованием методов дифференциального исчисления. Расчет переходных процессов осуществлялся с использованием математического пакета MATLAB 6.5 на ПЭВМ, расчет отдельных зависимостей выполнен в программе Mathcad 11. В качестве экспериментальных исследований использованы натурные испытания специализированной организации ОАО «БЭРН» с целью проверки адекватности полученных результатов и дальнейшего применения при проектировании и исследовании объектов горячего водоснабжения.

Полученные результаты и новизна. Разработаны методики расчета и математического описания магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения как объекта с распределенными параметрами; разработана структура и расчет параметров системы автоматического управления магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения; разработана методика синтеза системы автоматического управления электроприводами насосных агрегатов магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения; выполнено моделирование синтезированной системы автоматического управления магистральной трубопроводной системы горячего водоснабжения; получен планируемый экономический эффект.

Область применения. Организации и промышленные предприятия энергетической отрасли, предприятия коммунального хозяйства, предприятия водоснабжения городов и промышленных потребителей, а также предприятия, имеющие трубопроводные системы со значительной протяженностью, нуждающиеся в регулировании параметров водоснабжения.

SUMMARY

Avtushenko Nikolay Alexandrovich

Analysis and synthesis of pumps electric drives control systems for hot water supply objects

Key words: main pipelines, automatic control system, operating fluid, electric drive, pump, thermal power station, pressure, collecting channel, regulator, warm carry agent, hot water supply system.

The purpose of the research – Structure and synthesis development of automatic control system by electric drives of pump units of the main pipeline system of hot water supply for improvement of operational characteristics of hot water supply.

Research methods. Researches of static and dynamic properties of behavior of operating fluid of the main pipeline systems are executed on the basis of hydrodynamics and hydrostatics, the theory of the electric drive, electric machines and the theory of automatic control, the power savings, with use of methods of differential calculus. The transient analysis was carried out with use of mathematical package MATLAB 6.5 on computer, calculation of separate dependences is executed in program Mathcad 11. As experimental researches full-scale tests of the specialized organization of "BERN" Limited by the purpose of check of adequacy of the gained results and the further application are used at designing and research of installations of hot water supply objects.

The result obtained. Design procedures and the mathematical description of the main pipeline system of hot water supply as object with the distributed parameters are developed; the structure and calculation of automatic control system parameters of the main pipeline system of hot water supply is developed; it is developed techniques of synthesis of automatic control system by electric drives of pump units of the main pipeline system of hot water supply; modelling the synthesized automatic control system of the main pipeline system of hot water supply is executed; planned economic benefit is received.

The area of application.

The organizations and the industrial enterprises of power branch, public utilities, the enterprise of water supply of cities and industrial consumers, and also the enterprises having pipeline systems with significant extent, requiring regulation of parameters of water supply.



РЭЗІЮМЭ

Аўтушэнка Мікалай Аляксандравіч

Аналіз і сінтэз сістэм кіравання электрапрыводамі помпавых агрэгатаў аб'ектаў гарачага водазабеспячэння

Ключавыя словы: магістральны трубаправод, сістэма аўтаматычнага кіравання, рабочая электрапрывод, помпавы агрэгат, цеплаэлектрацэнтраль, рэгулятар, ціск, цепланосьбіт, сістэма гарачага водазабеспячэння.

Мэта работы – распрацоўка структуры і сінтэз сістэмы аўтаматычнага кіравання электрапрыводамі помпавых агрэгатаў магістральнай трубаправоднай сістэмы гарачага водазабеспячэння для паляпшэння эксплуатацыйных характарыстык гарачага водазабеспячэння.

Метады даследавання. Даследавання статычных і дынамічных уласцівасцяў паводзін рабочай вадкасці магістральных трубаправодных сістэм выкананы на аснове гідрадынамікі і гідрастатыкі, тэорыі электрапрыводу, электрычных машын і тэорыі аўтаматычнага кіравання, энергазберажэння, з выкарыстаннем метадаў дыферэнцыяльнага вылічэння. Разлік пераходных працэсаў ажыццяўляўся з выкарыстаннем матэматычнага пакету MATLAB 6.5 на ПЭВМ, разлік асобных залежнасцяў выкананы ў праграме Mathcad 11. У якасці эксперыментальных даследаванняў выкарыстаны натурныя выпрабаванні спецыялізаванай арганізацыі ААТ «БЭРН» з мэтай праверкі адэкватнасці атрыманых вынікаў і далейшага выкарыстоўвання пры праектаванні і даследаванні аб'ектаў гарачага водазабеспячэння.

Атрыманыя вынікі і навізна. Распрацаваны метадыкі разліка і матэматычнага апісання магістральнай трубаправоднай сістэмы гарачага водазабеспячэння як аб'екта з размеркаванымі параметрамі; распрацавана структура і разлік параметраў сістэмы аўтаматычнага кіравання магістральнай трубаправоднай сістэмы гарачага водазабеспячэння; распрацавана метадыка сінтэза сістэмы аўтаматычнага кіравання электрапрыводамі помпавых агрэгатаў магістральнай трубаправоднай сістэмы гарачага водазабеспячэння; зроблена мадэліраванне сінтэзаванай сістэмы аўтаматычнага кіравання магістральнай трубаправоднай сістэмы гарачага водазабеспячэння; атрыман планаваны эканамічны эффект.

Галіна прымянення. Арганізацыі і прамысловыя прадпрыемствы энергетычнай галіны, прадпрыемствы камунальнай гаспадаркі, прадпрыемствы водазабеспячэння гарадоў і прамысловых спажыўцоў, таксама прадпрыемствы, якія маюць трубаправодныя сістэмы са значнай працягласцю, якія маюць патрэбу ў рэгуляванні параметраў водазабеспячэння.

Научное издание

**Автушенко
Николай Александрович**

**АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ
ОБЪЕКТОВ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Подписано в печать 05.07.2010.

Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 60. Заказ 843.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.