На правах рукописи

ШТИН ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ СРЕДСТВАМИ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Специальность 05.09.03 – “Электротехнические комплексы и системы”

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Московский энергетический институт (технический университет)» на кафедре автоматизированного электропривода.

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент Сергиевский Юрий Николаевич

Официальные оппоненты доктор технических наук, проф. Красовский Александр Борисович

кандидат технических наук, доцент Головенкин Александр Николаевич

Ведущая организация ОАО «Электропривод»

Защита диссертации состоится “18” июня 2010 года в 14 час. 00 мин. в аудитории М-611 на заседании диссертационного совета Д 212.157.02 при ГОУ ВПО «Московский энергетический институт (технический университет)» по адресу: 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д.13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского энергетического института (технического университета)

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направить по адресу: 111250, Москва, ул. Красноказарменная, д.14, Ученый Совет МЭИ (ТУ)

Автореферат разослан “ “ _____ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.157.02
канд.техн.наук, доцент Цырук С.А.

Актуальность темы

Системой централизованного горячего водоснабжения (ГВС) в России оборудовано 65% всех жилых и общественных зданий. Как правило, нагрев воды и её транспортировка к потребителю осуществляется оборудованием, устанавливаемым в тепловых пунктах, общее число которых составляет в стране порядка 23 тыс.

Энергосбережение на тепловых пунктах осуществляется различными способами, в том числе и средствами регулируемого электропривода. Так, начиная с 90-х годов внедрение регулируемого электропривода хозяйственно-питьевых насосов, позволило стабилизировать напор в системе водоснабжения и существенно снизить потребление электрической энергии. Другой электропривод – циркуляционных насосов горячего водоснабжения – оставался нерегулируемым, что аргументировалось малой мощностью электродвигателя и, соответственно – сберегаемой электроэнергии. При этом возможности экономии тепловой энергии не уделялось должного внимания.

В диссертационной работе исследуется и реализуется возможность существенного снижения тепловых потерь (потребления тепловой энергии) в системе ГВС путем разработки алгоритма управления электроприводом насоса, создающего циркуляцию в этой системе. Таким образом, открывается новая, ранее не исследованная и перспективная зона внедрения регулируемого электропривода.

Массовое применение такого энергосберегающего электропривода позволило бы остановить рост тарифов на горячую воду, а также снизить дефицит тепловой энергии в городах. Изложенное позволяет считать тему диссертации весьма актуальной.

Цель диссертационной работы – комплексное энергосбережение в системе горячего водоснабжения зданий без снижения качества тепло- и водоснабжения.

Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

1. Анализ электроприводов и систем горячего водоснабжения на центральных тепловых пунктах с выявлением особенностей технологических схем и уточнением номенклатурного ряда электроприводов насосов.

2. Теоретическое и экспериментальное обоснование возможности экономии тепловой и электрической энергии как нового направления энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве города.

3. Разработка математической модели системы горячего водоснабжения, позволяющей исследовать режимы тепло- и водоснабжения с учетом особенностей присоединенной тепловой нагрузки и внешних возмущающих факторов.

4. Разработка алгоритма управления электроприводом циркуляционного насоса с учетом необходимых ограничений, предотвращающих снижение качества тепло- и водоснабжения.

5. Внедрение регулируемого электропривода циркуляционного насоса на действующих объектах теплоэнергетики и экспериментальное подтверждение эффективности разработанного алгоритма.

Методы исследований

В работе использованы базовые методы теории автоматизированного электропривода, систем управления электроприводом, моделирования в технике и теоретических основ теплотехники.

Исследование осуществлялось как в программной среде System View, предназначенной для моделирования физических объектов, так и экспериментальное – на тепловых пунктах г. Москвы.

Оценка эффективности энергосберегающих мероприятий осуществлялась посредством статистического анализа.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Теоретически и экспериментально выявлена новая зона экономии тепловой и электрической энергии, расходуемых на горячее водоснабжение зданий без снижения качества тепло- и водоснабжения.

2. Разработана адекватная математическая модель системы горячего водоснабжения, пригодная для исследования режимов тепло- и водопотребления с учетом особенностей присоединенной тепловой нагрузки и внешних возмущающих факторов.

3. Разработан и экспериментально подтвержден алгоритм управления электроприводом циркуляционного насоса, обеспечивающий экономию тепловой и электрической энергии без снижения комфортности тепло- и водоснабжения.

Практическая ценность работы

Основные научные результаты диссертации использованы при модернизации объектов теплоэнергетического хозяйства Московской объединенной энергетической компании и могут быть применимы во всех крупных городах России ввиду принципиального сходства централизованных систем тепло- и водоснабжения.

Апробация работы

Основные результаты работы обсуждались на пятнадцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (г. Москва, МЭИ, 2009 г.) и на кафедре автоматизированного электропривода МЭИ (ТУ).

Публикации

Основное содержание работы опубликовано в 3 печатных трудах (в том числе в 2-х рецензируемых научных журналах, рекомендуемых Высшей Аттестационной Комиссией Министерства Образования России), защищено 2-мя патентами Российской Федерации.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 60 наименований. Ее содержание изложено на 142 страницах машинописного текста, включая 49 рисунков, 24 таблицы и 3 приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика системы ГВС зданий, обосновывается необходимость исследований, направленных на повышение эффективности её работы средствами регулируемого электропривода, осуществляется постановка целей и задач диссертационной работы.

В первой главе показана актуальность и эффективность проводимых мероприятий по ресурсосбережению в системах централизованного тепло- и водоснабжения за счет применения регулируемого электропривода, а также определена зона, на которую распространяется действие регулируемого электропривода циркуляционных насосов ГВС [1].

В условиях больших тепловых потерь в коммунальных сетях, острого дефицита тепловой энергии в городах и, как следствие, высоких тарифов на услуги тепло- и водоснабжения зданий, наиболее целесообразным способом повышения эффективности централизованных систем является развитие энергосбережения на этапах транспортировки тепловой энергии в ЖКХ.

Зона энергосбережения в системе ГВС средствами регулируемого электропривода ранее не рассматривалась по следующим причинам:

- небольшая экономия электроэнергии ввиду малой мощности электроприводов (единицы кВт);

• возрастание удельной стоимости преобразователей частоты при уменьшении мощности;

• отсутствие обоснования экономии тепловой энергии средствами регулируемого электропривода;

• дискредитация энергосберегающих мероприятий нерациональными алгоритмами управления электропривода насоса ГВС.

С целью получения общей оценки существующей ситуации в системе ГВС автором было проведено исследование более тысячи ЦТП г. Москвы, результаты которого показали:

1. Около 80% всех обследованных ЦТП осуществляют водоснабжение зданий горячей водой по циркуляционной схеме, а 20% – по циркуляционно-повысительной.

2. Основное применение получили электроприводы мощностью до 3 кВт в циркуляционной схеме и 7,5 кВт в циркуляционно-повысительной (рис. 1).

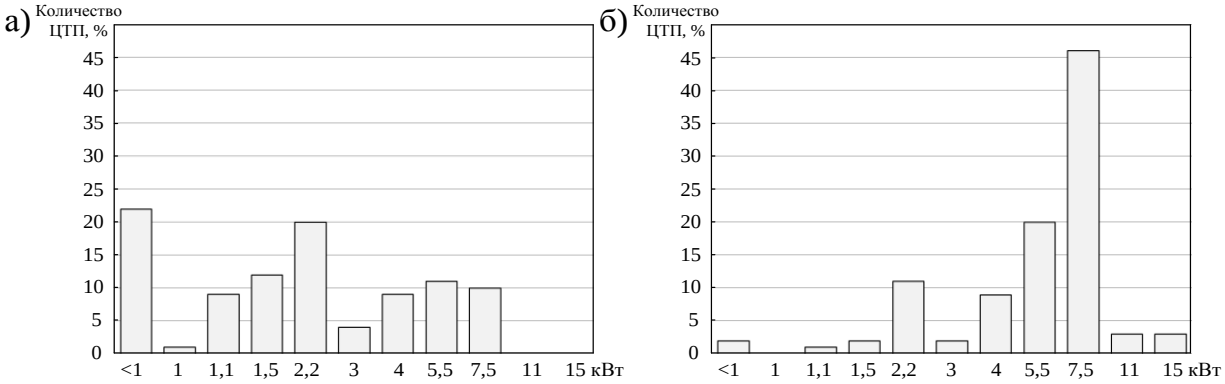

Рис. 1 – Распределение электроприводов циркуляционных насосов по мощности в системе ГВС: а) циркуляционная схема; б) циркуляционно-повысительная схема

3. Как правило, при проектировании используются однотипные электроприводы циркуляционных насосов без учета конкретных особенностей гидросхем и режимов теплопотребления.

4. При включении электропривода насоса ГВС по циркуляционно-повысительной схеме почти 60% всех обследованных ЦТП не удовлетворяют комфортному водоснабжению по напору (рис.2).

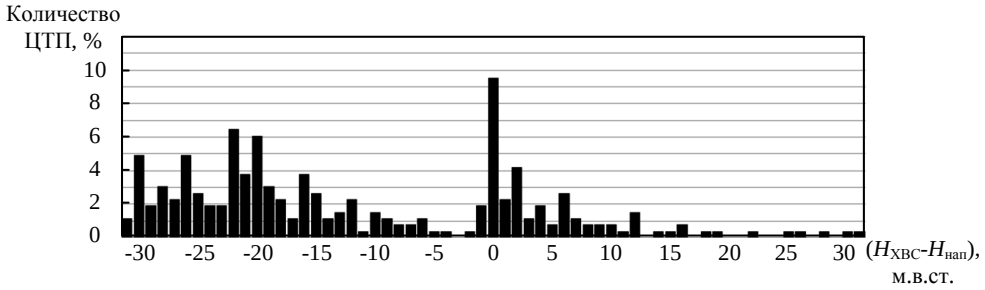

Рис. 2 – Распределение тепловых пунктов по разности напоров в циркуляционно-повысительной схеме

Проведенный анализ позволил сделать вывод и обосновать рассмотрение в диссертационной работе циркуляционных схем ГВС.

Во второй главе анализируется влияние угловой скорости электропривода циркуляционного насоса, расхода горячей воды потребителями, температуры наружного воздуха и протяженности трубопровода на тепловые потери и теплопотребление в системе ГВС [2].

На рис. 3 показана упрощенная циркуляционная схема системы ГВС, полученная с учетом обоснованных и принятых в работе допущений:

1. Циркуляционный контур с множеством параллельных циркуляционных колец приводится к контуру с одним эквивалентным кольцом.

2. Циркуляционный контур с эквивалентным кольцом разбивается на напорный и обратный трубопровод различной протяженности.

3. Температура окружающей среды варьируется для напорного и обратного трубопровода и на всех участках каждого принимается одинаковой.

4. Теплоизоляция труб принимается выполненной по СНиП на всем протяжении трубопроводов (оголенные участки отсутствуют).

5. Динамические процессы при пуске электропривода насоса не учитываются.

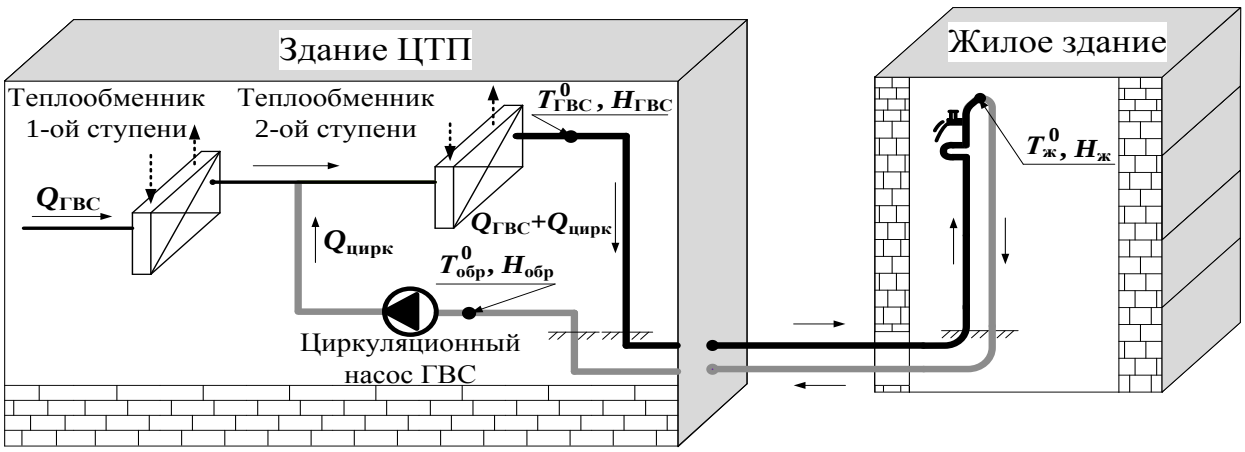

Рис. 3 – Упрощенная схема горячего водоснабжения зданий

В такой системе преобразование тепловой энергии осуществляется следующим образом: вода с расходом $Q_{ГВС}$, забираемая из городского водопровода, под давлением поступает в теплообменник 1-ой ступени, где подогревается и далее смешивается с водой из обратного трубопровода с расходом $Q_{цирк}$, созданным электроприводом насоса ГВС. Температура и

давление обратной воды обозначены как $T^0_{\text{обр}}$ и $H_{\text{обр}}$. Далее вода с расходом ($Q_{\text{ГВС}}$+$Q_{\text{цирк}}$) нагревается до заданной температуры $T^0_{\text{ГВС}}$ в теплообменнике 2-ой ступени за счет регулирования расхода первичного теплоносителя, после чего под давлением $H_{\text{ГВС}}$ подается в дома.

Интенсивность движения воды в трубопроводах задается потребителем, обеспечиваясь электроприводами насосов ХВС и ГВС. При транспортировке от ЦТП к водоразборным кранам нагретая вода отдает часть своего тепла окружающему трубопроводы воздуху, нагревая тем самым помещения, в которых они проложены. Температура у водоразборных кранов $T^0_{\text{ж}}$ задается температурой нагрева в ЦТП и меняет свое значение в зависимости от величины тепловых потерь.

Система уравнений, отражающая взаимосвязь тепловых потерь, потребляемой тепловой мощности и температуры воды у водоразборных кранов с циркуляционным расходом в системе, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \Delta P_{\text{т.нап}} = \dfrac{(T^0_{\text{ГВС}} - T^0_{\text{в}})\ L_{\text{нап}}\ (Q_{\text{ГВС}} + Q_{\text{цирк}})^{0,8}}{R_{1\text{нап}} + R_{2\text{нап}}\ (Q_{\text{ГВС}} + Q_{\text{цирк}})^{0,8}} \\ T^0_{\text{ж}} = T^0_{\text{ГВС}} - \dfrac{3600\ \Delta P_{\text{т.нап}}}{c_{\text{тр}}\rho\ (Q_{\text{ГВС}} + Q_{\text{цирк}})} \\ \Delta P_{\text{т.обр}} = \dfrac{(T^0_{\text{ж}} - T^0_{\text{в}})\ L_{\text{обр}}\ Q_{\text{цирк}}{}^{0,8}}{R_{1\text{обр}} + R_{2\text{обр}}\ Q_{\text{цирк}}{}^{0,8}} \\ T^0_{\text{обр}} = T^0_{\text{ж}} - \dfrac{3600\ \Delta P_{\text{т.обр}}}{c_{\text{тр}}\rho\ Q_{\text{цирк}}} \\ P_{\text{т.ц.}} = \dfrac{c_{\text{тр}}\rho}{3600} Q_{\text{цирк}} (T^0_{\text{ГВС}} - T^0_{\text{обр}}) \end{cases}, \qquad (1)$$

где $\Delta P_{\text{т.нап}}$, $\Delta P_{\text{т.обр}}$ – мощность тепловых потерь в напорном и обратном трубопроводах;

$P_{\text{т.ц.}}$ – тепловая мощность, потребляемая на нагрев циркулирующей в системе ГВС воды;

$T^0_{\text{в}}$ – температура окружающего трубопровод воздуха;

$L_{\text{нап}}$, $L_{\text{обр}}$ – протяженность напорного и обратного трубопроводов от ЦТП до наиболее удаленного водоразборного крана;

$R_{1\text{нап}}$, $R_{2\text{нап}}$, $R_{1\text{обр}}$, $R_{2\text{обр}}$ – коэффициенты, значение которых зависит главным образом от диаметров трубопроводов и толщины изоляционного слоя;

$c_{\text{тр}}$, ρ – удельная массовая теплоемкость и плотность воды.

Зависимость циркуляционного расхода $Q_{\text{цирк}}$ от угловой скорости электропривода ω принята линейной:

$$Q_{\text{цирк}} = k_{\text{нас}}\omega\,, \qquad (2)$$

где $k_{нас}$ – коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей насоса и гидравлического сопротивления сети.

На основании математического описания (1) и (2) построена структурная схема (рис. 4), реализованная в программной среде SystemView. В качестве объекта исследования выбран один из характерных для г. Москвы ЦТП аб. № 04-03-0209/124 по адресу ул. 2-ая Владимирская д.52, корп. 1, стр.2 с мощностью электропривода циркуляционного насоса 2,2 кВт. Исходными данными для построения модели послужили значения показателей в режимной карте ЦТП, график потребления горячей воды $Q_{ГВС}$ в течение суток, схема подключения к тепловому пункту домов, с указанием протяженности и диаметров трубопроводов.

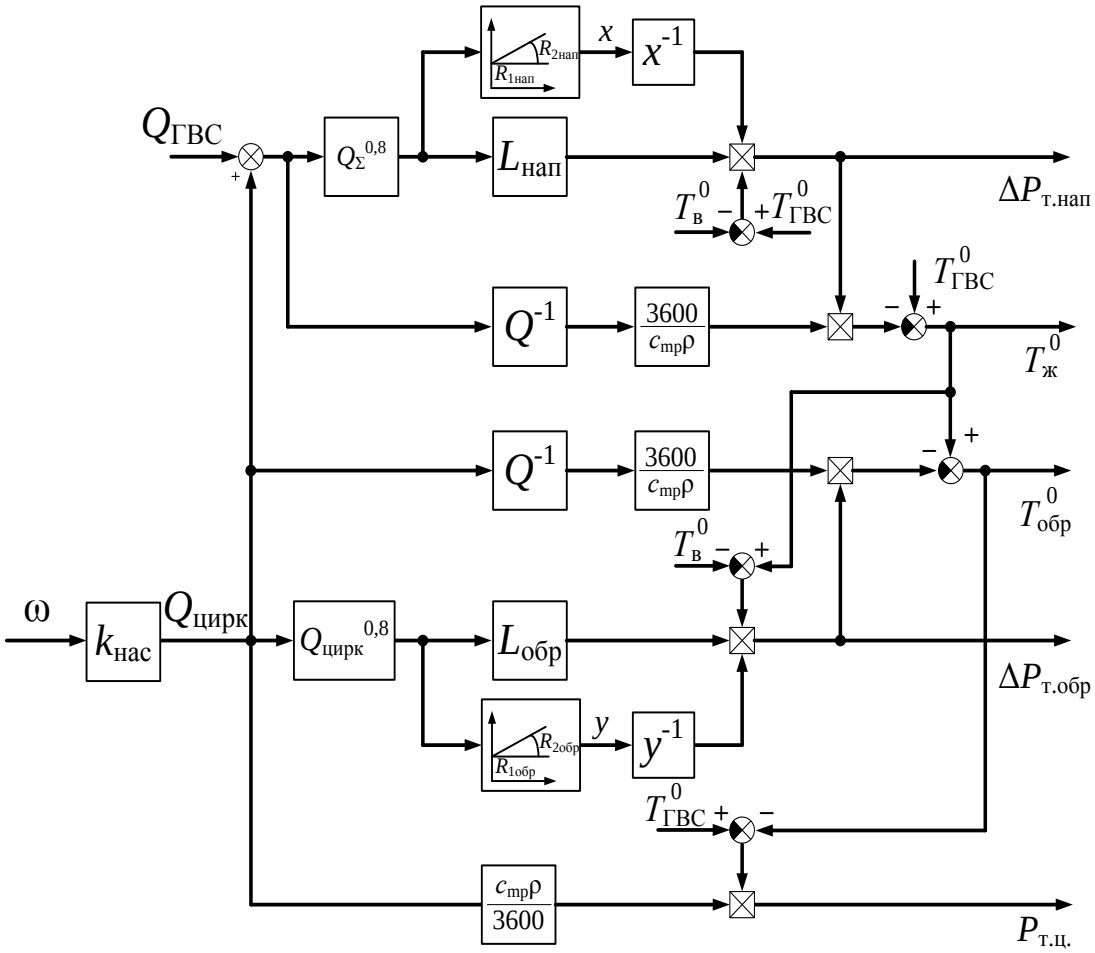

Рис. 4 – Структурная схема модели системы ГВС

Влияние угловой скорости на величину тепловых потерь в трубопроводах исследовано путем принудительного уменьшения угловой скорости электропривода от $\omega_{ном}$ до 0,4 $\omega_{ном}$ (рис. 5,а,б). Количественная оценка результатов моделирования приведена в таблице 1, из которой видно, что при снижении ω в 2,5 раза снижаются тепловые потери $\Delta P_{т.нап}$, $\Delta P_{т.обр}$ на 1,6% и 9,7% соответственно и, как следствие, уменьшается потребляемая

мощность на нагрев циркулирующей воды $P_{т.ц.}$ на 16,2%. При этом основное снижение происходит в обратном трубопроводе, поэтому отопление ванных комнат (полотенцесушители) практически не ухудшается.

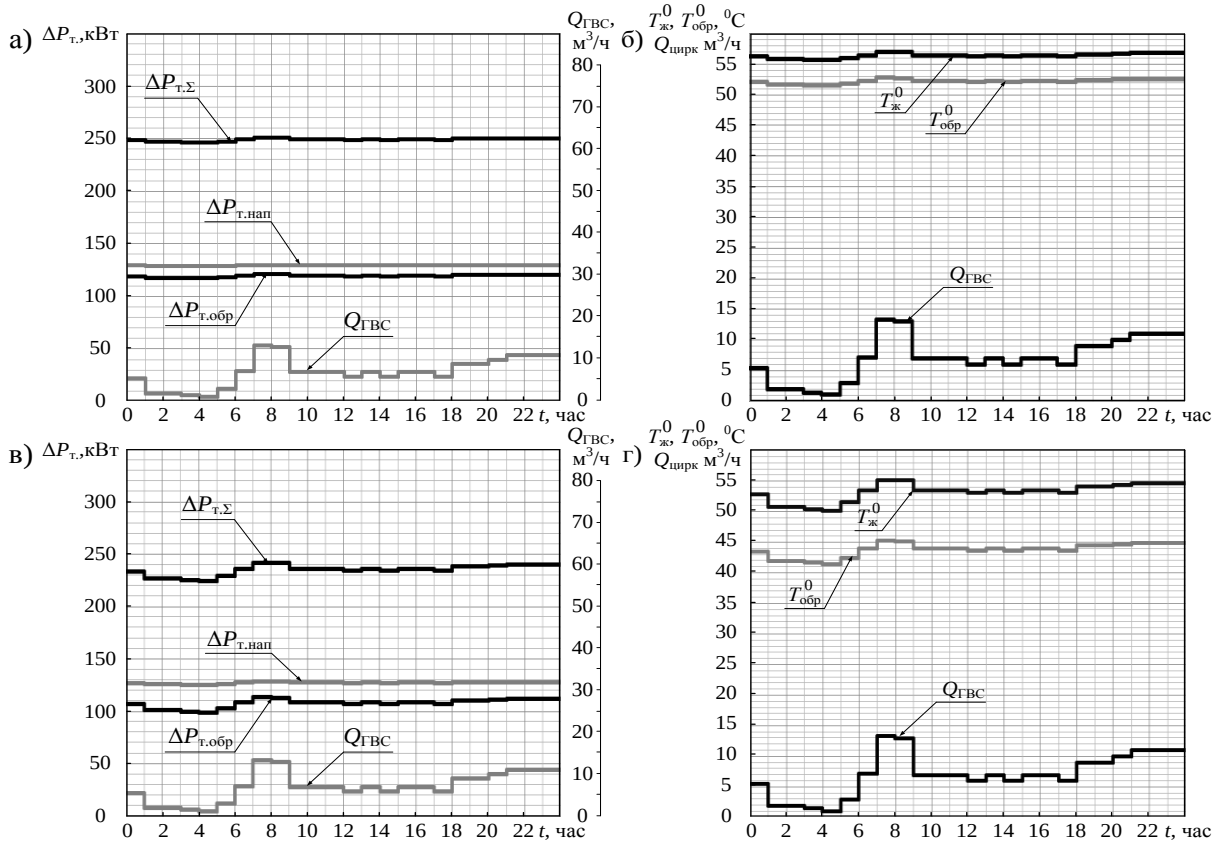

Рис. 5 – Суточные графики мощности тепловых потерь и температуры воды у жильцов при $\omega_{ном}$ (а, в) и $0{,}4\omega_{ном}$ (б, г)

Таблица 1 – Средняя мощность тепловых потерь за сутки при уменьшении угловой скорости электропривода

ω, $с^{-1}$	$\Delta P_{т.напср}$, кВт	$\Delta P_{т.обрср}$, кВт	$P_{т.ц.ср}$, кВт (Гкал/ч)	$\Delta P_{т.нап\%}$, %	$\Delta P_{т.обр\%}$, %	$P_{т.ц.\%}$, %
$\omega_{ном}$	129,4	119,4	221,4 (0,19)	100,0	100,0	100,0
$0{,}8\omega_{ном}$	128,9	117,1	213,8 (0,18)	99,6	98,1	96,7
$0{,}6\omega_{ном}$	128,3	113,6	202,9 (0,17)	99,1	95,1	91,6
$0{,}4\omega_{ном}$	127,3	107,8	185,5 (0,16)	98,4	90,3	83,8

Среднее значение температуры воды у водоразборных кранов за сутки $T^0_{жср}$ снизилось на 3,2 ^{0}С (рис. 5,в,г), а сами значения температуры воды во времени стали более зависимы от расхода горячей воды, колебания которых не превышают 5 ^{0}С.

Аналогичные исследования были проведены с температурой воздуха окружающей трубопровод $T^0_в$ и протяженностью трубопровода L, которые показали:

1. Изменение температуры наружного воздуха существенно влияет на тепловые потери в контуре циркуляции. Это влияние повышает эффективность применения регулируемого электропривода в летний период и должно учитываться при построении системы регулирования ГВС.

2. У объектов с разной длиной трубопроводов при прочих равных условиях для компенсации изменения температуры воды у водоразборных кранов требуется различная величина циркуляционного расхода (угловой скорости электропривода).

Исследования влияния электропривода циркуляционного насоса на модели позволили перейти к изучению системы ГВС в реальных условиях тепло- и водоснабжения.

В третьей главе обосновывается адекватность математической модели и доказывается целесообразность регулирования электропривода циркуляционного насоса по расходу. Анализ проводился на том ЦТП, параметры которого использованы при исследовании модели [1,3].

При моделировании изменения угловой скорости электропривода график расхода горячей воды $Q_{ГВС}$ и температура воздуха $T_в^0$ для исследуемых режимов принимались одинаковыми. В реальных условиях повторение аналогичных суточных экспериментов затруднительно. Для минимизации влияния этих факторов выполнен измерения с 3:30 до 5:00 часов с непрерывной регистрацией показателей системы при изменении угловой скорости электропривода ω и неизменном $Q_{ГВС}$ (минимум в ночное время). По условиям эксперимента каждые пол-часа ω уменьшалась на 10%, при этом температура в обратном трубопроводе качественно изменялась за 25 минут, следующие 5 минут происходило измерение потребляемой тепловой мощности (рис. 6).

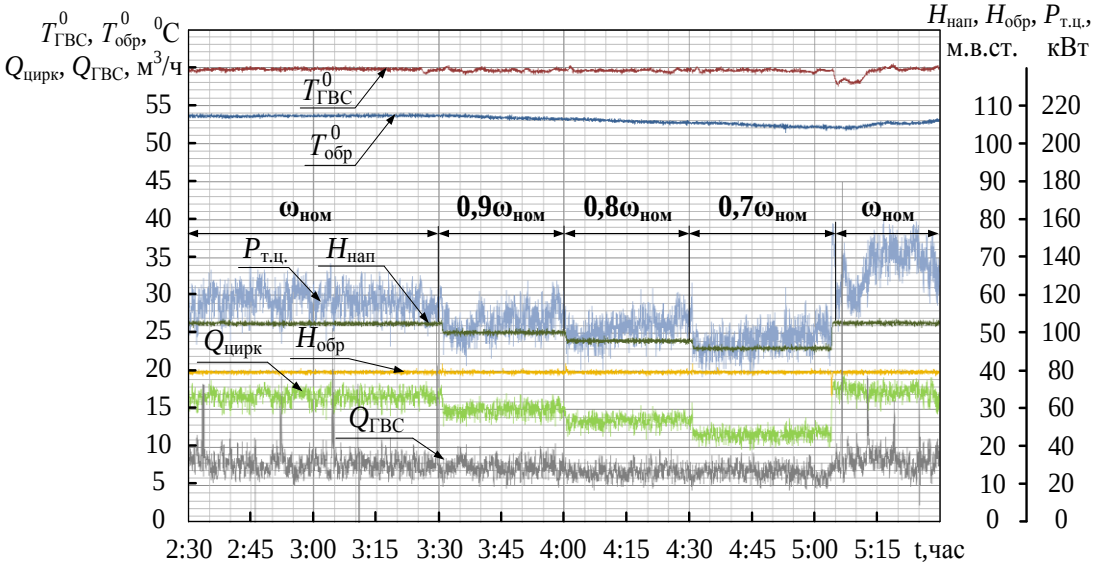

Рис. 6 – Графики показателей системы ГВС при снижении угловой скорости электродвигателя с минимальным влиянием $Q_{ГВС}$ и $T_н^0$

Результаты эксперимента показали, что при уменьшении угловой скорости электропривода от $\omega_{ном}$ до $0{,}7\omega_{ном}$ потребление тепловой энергии на нагрев циркулирующей воды снизилось на 10,9%, а электрической энергии – на 66,7%.

На рис. 7,а показана гистограмма потребляемой мощности в процентном отношении $P_{т.ц.\%}$ при угловых скоростях электропривода: $\omega_{ном}$, $0{,}9\omega_{ном}$, $0{,}8\omega_{ном}$, $0{,}7\omega_{ном}$. Как видно из гистограммы, экспериментальные значения отличаются не более чем на 5% от соответствующих величин, полученных при математическом моделировании.

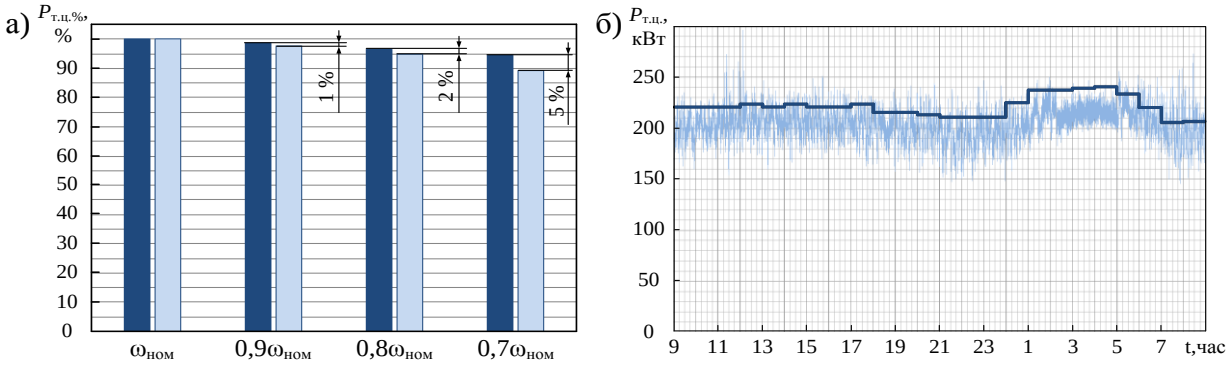

Рис. 7 – Графики расчетной и экспериментальной потребляемой мощности на нагрев циркуляционной воды

Другим доказательством адекватности модели служит рис. 7,б, на котором показаны графики потребления тепловой мощности в течение суток, полученные экспериментальным и расчетным путем при $\omega_{ном}$. Их динамика изменения во многом совпадает, что позволяет судить о схожести процессов теплопередачи и изменения температуры воды у жильцов, описанных при моделировании.

Целесообразность регулирования и необходимость разработки его алгоритма была подтверждена путем принудительного изменения угловой скорости электродвигателя в выделенные периоды времени согласно усредненным расходам $Q_{ГВС}$, соответствующим максимальному, среднему и минимальному водопотреблению. Результаты наблюдений в течение 7 дней по имеющимся на ЦТП теплосчетчику и расходомеру приведены в таблице 2, а графики показателей ЦТП для двух будних дней в регулируемом и нерегулируемом режимах – на рис. 8.

Таблица 2 – Суточные показатели тепло- и водопотребления

Измеряемый показатель	ω=var			ω=const			
	13-14.05	22-23.05	24-25.05	14-15.05	26-27.05	27-28.05	28-29.05

за сутки							
$\Theta_{ГВС}$, Гкал	10,2	10,7	10,2	11,2	11,7	11,6	11,4
$V_{ГВС}$, м^3	160,8	175,2	170,4	165,6	175,2	175,2	175,0

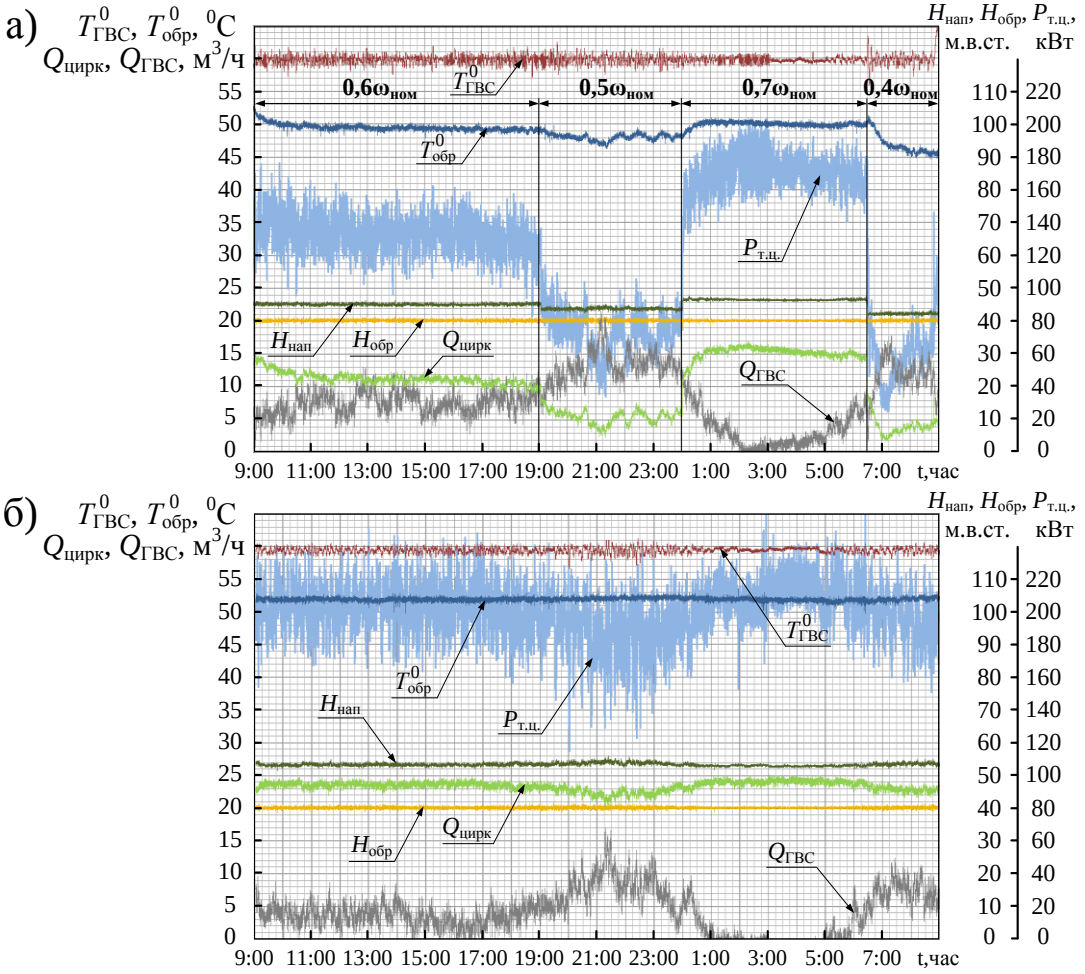

Рис. 8 – Сравнение показателей в регулируемом (а) и нерегулируемом (б) режимах

Сравнение средних значений расхода тепла за сутки в регулируемом (10,4 Гкал) и нерегулируемом (11,5 Гкал) режимах при практически равных условиях показало экономию порядка 9% от общего потребления на ГВС. Проведенные экспериментальные исследования развеяли опасения по поводу возможного ухудшения качества тепло- и водоснабжения и позволили перейти к следующему этапу – разработке алгоритма управления электропривода циркуляционного насоса.

В четвертой главе обоснован и разработан алгоритм управления угловой скоростью электропривода от расхода горячей воды, с последующей проверкой на шести тепловых пунктах г. Москвы.

Как было показано при экспериментальном исследовании, эффект энергосбережения в системе ГВС достигается за счет снижения угловой скорости электропривода ω с увеличением расхода горячей воды $Q_{ГВС}$. Это

условие должно выполняться по отношению к некоторой базовой величине $\omega_{зад.б}$, соответствующей минимальному значению расхода $Q_{ГВС}$ [4,5]:

$$\omega = \omega_{зад.б}\left(1 - \frac{Q_{ГВС}}{Q_{ГВСmax}}\right). \quad (3)$$

Практическая реализация зависимости (3) потребовала введения наладочных коэффициентов и ограничений, необходимых для предотвращения снижения качества водоснабжения горячей водой:

$$\omega = k_1\omega_{ном}\left(1 - k\frac{Q_{ГВС}}{Q_{ГВСmax}}\right) \geq \omega_{min}, \quad (4)$$

где k – коэффициент, определяющий степень зависимости создаваемого циркуляционного расхода от величины потребления горячей воды;

k_1 – коэффициент, необходимый для снижения избыточного циркуляционного расхода;

$\omega_{ном}$ – номинальная угловая скорость электропривода;

ω_{min} – минимальная угловая скорость электропривода, исключающая полное прекращение циркуляции в одном или нескольких удаленных от ЦТП циркуляционных кольцах.

Исследование алгоритма на модели при значениях коэффициентов k =1 и k_1=0,7 показано на рис. 9. Результат моделирования показал снижение средней потребляемой мощности на нагрев только циркуляционной воды на 35,6 кВт (16,1%) в сравнении с нерегулируемым режимом работы электропривода циркуляционного насоса (185,8 и 221,4 кВт соответственно) или 7% от общего теплопотребления на ГВС

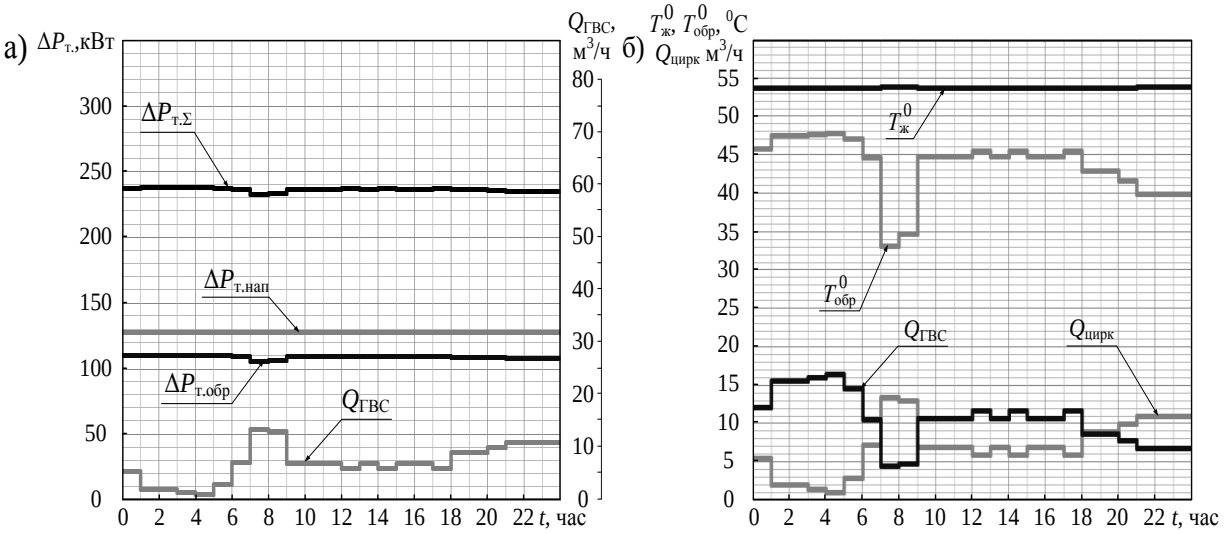

Рис. 9 – Мощность тепловых потерь (а) и температура воды у водоразборных кранов (б)

Алгоритм управления (4) реализован на базе вентильно-индукторного электропривода (ВИП) на 6 ЦТП с мощностью электродвигателя

циркуляционного насоса 2,2 кВт и 1,5 кВт. При модернизации системы ГВС осуществлялась замена одного из двух электроприводов на регулируемый вентильно-индукторный. Другой электропривод оставлен без изменений в качестве резервного. На рис. 10,а показана блочная схема основных составляющих автоматизированной системы управления с указанием взаимосвязей между блоками, а её реализация на ЦТП аб. № 04-04-0212/025 (г. Москва, ул. Вешняковская, д.26, к.2, стр.3) – на рис.10,б. Система состоит из вентильно-индукторного электродвигателя (ВИД) и импульсного коммутатора ВИП-2,2, разработанных на кафедре АЭП МЭИ (ТУ), а также станции группового управления (СГУ) электроприводами циркуляционных насосов. Измерение расхода горячей воды $Q_{ГВС}$ и расчет количества потребляемого тепла в системе ГВС осуществляется электронным блоком теплосчетчика.

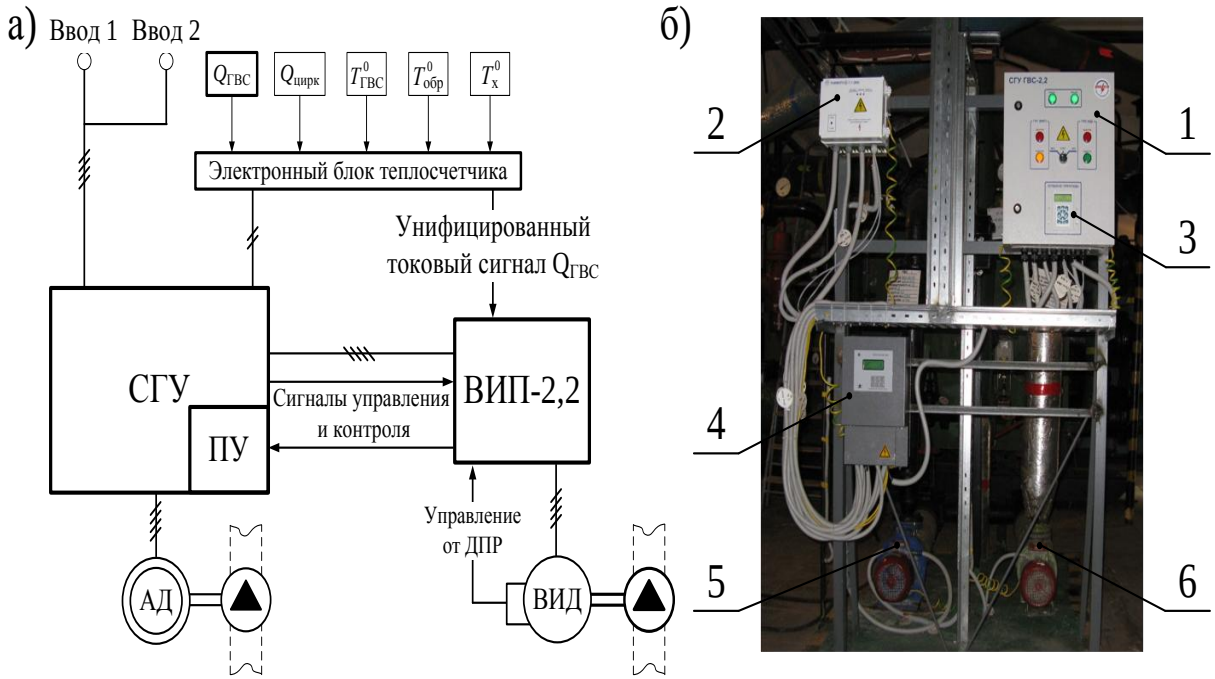

Рис. 10 – Блочная схема АСУ электропривода циркуляционного насоса (а) и её реализация на ЦТП (б): 1 – СГУ; 2 – импульсный коммутатор; 3 – пульт управления; 4 – электронный блок теплосчетчика; 5 – основной насос с ВИД; 6 – резервный насос с асинхронным электродвигателем

Потребление тепловой мощности на нагрев циркуляционной воды до и после внедрения регулируемого электропривода показаны на рис. 11. Сравнение приведено для одной из ЦТП при практически равных расходах горячей воды и температуры наружного воздуха в течение суток. Как видно, потребляемая мощность с применением нового алгоритма существенно снижается, а наибольший эффект энергосбережения достигается в пиковые часы водоразбора с 7 до 9 и с 19 до 24 часов.

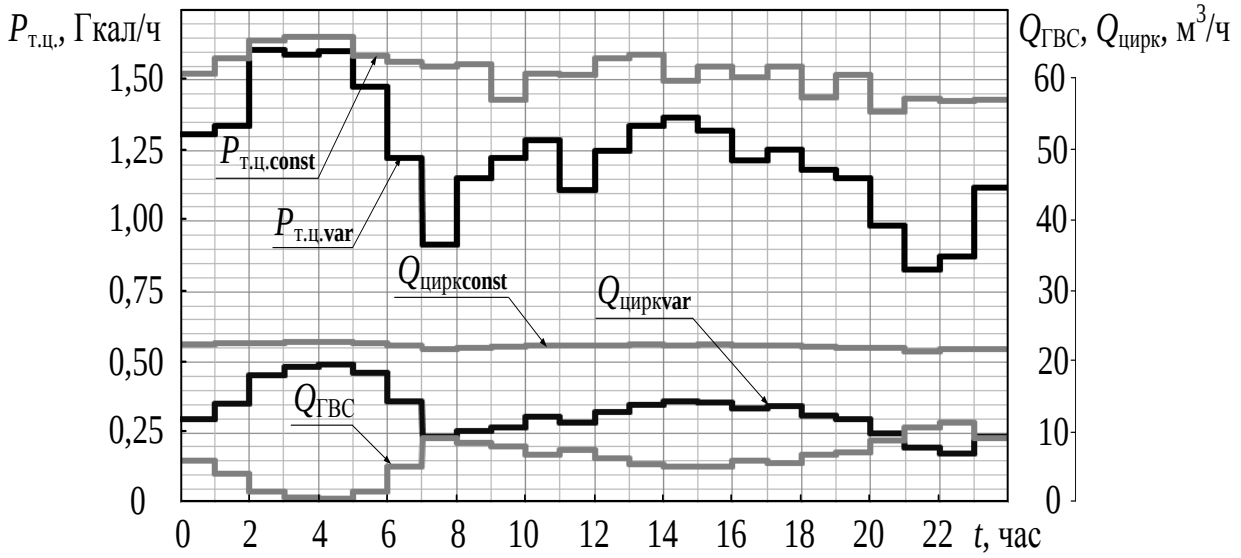

Рис. 11 – Графики циркуляционного расхода и потребления тепловой мощности в регулируемом и нерегулируемом режимах

Наблюдение за энергопотреблением в системе ГВС в течение 4 месяцев на 5 ЦТП показало среднесуточную экономию тепловой энергии – 8,9%, электрической – 56% (таблица 3) без снижения комфортности.

Таблица 3 – Среднесуточные показатели энергопотребления на ЦТП

Абонентский номер ЦТП	Среднесуточное потребление тепловой энергии на ГВС, Гкал (экономия)		Среднесуточное потребление электрической энергии, кВт·ч (экономия)	
	ω=const	ω=var	ω=const	ω=var
04-04-0212/025	9,9	8,7 (12,6%)	2,3	0,8 (65%)
04-04-0212/029	1,7	1,5 (9,2%)	0,7	0,4 (55%)
04-04-0224/026	7,6	6,9 (9,7%)	1,6	0,7 (75%)
04-07-0222/051	5,3	5,0 (5,8%)	0,6	0,3 (32%)
04-05-0602/078	7,0	6,6 (7,0%)	1,9	0,5 (55%)

В конце главы приведен ориентировочный расчет экономической эффективности внедрения электропривода циркуляционного насоса в системе ГВС и срока окупаемости.

В заключении подведены основные итоги диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Выявлена и обоснована новая зона энергосбережения – циркуляционная схема горячего водоснабжения путем анализа результатов обследования крупного массива тепловых пунктов, теоретического исследования на математической модели и экспериментов на объектах.

2. Разработана адекватная математическая модель функционирования циркуляционного контура системы горячего водоснабжения.

3. Теоретически и экспериментально установлены количественные показатели экономии энергии за счет применения регулируемого электропривода циркуляционного насоса, находящиеся в пределах 7-9% тепловой и 60% электрической энергии от общей, потребляемой на горячее водоснабжение.

4. Разработан энергосберегающий алгоритм управления электроприводом циркуляционного насоса, предотвращающий снижение качества тепло- и водоснабжения.

5. Опытно-промышленная эксплуатация регулируемого вентильно-индукторного электропривода циркуляционных насосов подтвердила эффективность разработанного алгоритма для экономии энергии без снижения качества тепло- и водоснабжения.

6. Внедрение нового способа регулирования на тепловом пункте с мощностью ГВС 0,41 Гкал/ч обеспечивает экономию около 1 Гкал в сутки (370 тыс. руб. в год).

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Бычкова Е.В., Сарач Б.М., Штин Е.Н. Опыт использования регулируемого электропривода в системе горячего водоснабжения // Вестник МЭИ. 2009. №1. с.183.

2. Штин Е.Н. Теоретическое обоснование применения регулируемого электропривода циркуляционных насосов в системе горячего водоснабжения // Электропривод и системы управления: Труды МЭИ. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 72 с.

3. Штин Е.Н., Ильинский Н.Ф. Оптимизация систем горячего водоснабжения зданий // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Пятнадцатая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 3-х т. Т. 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 480 с.

4. Пат. 2380619 Российская Федерация, МПК F24D 17/00. Способ снижения расхода тепловой и электрической энергии в циркуляционной системе горячего водоснабжения / Ремезов А.Н., Сорокин А.В., Кочанов Ю.И., Крылов Ю.А., Ильинский Н.Ф., Бычкова Е.В., Штин Е.Н. - №2008145234/03; заявка 18.11.2008, опубл. 27.01.2010, Бюл. №3.

5. Пат. 81790 Российская Федерация, МПК F24D 17/00. Циркуляционная система горячего водоснабжения. Полезная модель. / Ремезов А.Н., Сорокин А.В., Кочанов Ю.И., Крылов Ю.А., Ильинский Н.Ф., Бычкова Е.В., Штин Е.Н. - №2008145235/22; заявка 18.11.2008, опубл. 27.03.2009, Бюл. №9.

Печ. л.: Тираж: Заказ:

Типография МЭИ, Красноказарменная, 13