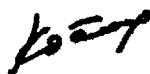


На правах рукописи



КОСТРИКОВ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
И УЧЕТОМ ФАСАДНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.13.06 - Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами (в строительстве)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Белгород - 2005

Работа выполнена в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова (БГТУ)

**Научный руководитель — кандидат технических наук,
доцент
Потапенко А.Н.**

**Официальные оппоненты — доктор технических наук,
профессор
Титов В.С.**

**кандидат технических наук,
доцент
Маматов А.В.**

**Ведущая организация — Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет**

Защита состоится 28 октября 2005 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д212.014.04 при Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова по адресу: 308012 г. Белгород, ул. Костюкова, 46

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

Автореферат разослан « » сентября 2005 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук**

М.Ю. Ельцов

2006-4
15020

179301

3

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

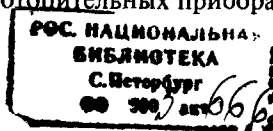
Актуальность работы. Важной структурой топливно-энергетического комплекса является теплоэнергетика, потребляющая порядка 40% топливных ресурсов страны. В большинстве крупных городов России централизованным теплоснабжением обеспечивается от 70 до 95% жилого фонда, а также общественных зданий и сооружений. Среди существующих статей коммунальных расходов преобладающими являются расходы на тепловую энергию, среди которых к самой затратной статье относятся расходы на отопление зданий, составляющие более 60%.

Учитывая столь высокую энергоемкость, актуальными являются задачи по повышению эффективности существующих систем автоматизации процесса отопления, включая задачи не только обеспечения энергосбережения, но и повышения надежности и срока эксплуатации систем, контроля работоспособности и повышения качества процесса отопления.

В настоящее время широкое распространение получают системы теплоснабжения зданий при независимом присоединении к тепловым сетям. Применение пластинчатых теплообменников улучшает работу всей системы теплоснабжения путем исключения смешивания сред теплоносителей, появляются возможности эффективной гидравлической наладки и сохранения циркуляции теплоносителя в течение времени, достаточного для устранения аварийного повреждения трубопроводов наружных тепловых сетей.

При независимой схеме присоединения системы отопления (СО) к тепловым сетям используются известные способы управления процессом отопления. Для повышения эффективности существующих систем актуальными являются задачи разработки математических моделей, позволяющие создавать и исследовать новые структуры и алгоритмы управления процессом отопления зданий с применением теплообменников.

Учитывая высокую стоимость решений по индивидуальному регулированию подачи теплоносителя в отопительные приборы путем установки терморегуляторов, актуальной является разработка структур и алгоритмов функционирования систем, расширяющих функции известных и апробированных способов управления процессом отопления, таких как местное и пофасадное регулирование, затраты на внедрение которых на порядок меньше по сравнению с индивидуальным регулированием теплоносителя в отопительных приборах в расчете на



1 м² обогреваемых помещений. Модернизация способов регулирования теплопотребления фасадов, т.е. фасадного регулирования, позволяет повысить их эффективность. Однако для этого необходимо обладать адекватными математическими моделями, позволяющими исследовать особенности управления процессом отопления зданий с теплообменниками с учетом фасадного регулирования.

Цель диссертационной работы — повышение эффективности управления процессом отопления зданий с применением теплообменников за счет развития и расширения функциональных возможностей фасадного регулирования.

Поставленная цель достигается при решении следующих **основных задач**:

1. Проведение экспериментальных исследований и разработка математической модели управления процессом отопления здания с применением теплообменников.
2. Проведение численного моделирования управления процессом отопления здания при независимом присоединении к тепловым сетям с учетом фасадного регулирования.
3. Разработка структур систем и алгоритмов управления процессом отопления здания с учетом фасадного регулирования и автоматического контроля работоспособности системы отопления здания.
4. Разработка и внедрение технических решений для систем отопления с учетом фасадного регулирования в составе автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) для зданий образовательного назначения.

Методы исследований. В работе применялись методы решения дифференциальных уравнений, методы математического моделирования, теории управления, теории идентификации, моделирование систем, численные методы анализа.

Научная новизна работы заключается в разработках:

- математической модели управления процессом отопления здания при независимом присоединении к тепловым сетям с учетом нелинейных процессов, протекающих в теплообменнике;
- имитационной модели управления процессом отопления здания при независимом присоединении к тепловым сетям, позволяющей исследовать особенности фасадного регулирования;
- структуры и алгоритмов функционирования системы автоматической подпитки и контроля за утечками теплоносителя для расширения функциональных возможностей фасадного регулирования;

- структуры системы и алгоритмов автоматического контроля работоспособности и отключения теплообменников с подключением энергоэффективной зависимой схемы теплоснабжения;
- структуры и алгоритмов управления системой автоматического регулирования (САР) отопления по двум фасадам здания на основе одного теплообменника с учетом особенностей подключения систем отопления.

Практическая значимость работы.

1. Результаты экспериментальных исследований процесса отопления зданий с применением теплообменников.
2. Полученные рациональные параметры регулятора для обеспечения заданных условий и вида переходных процессов в системе отопления.
3. Технические решения для расширения функциональных возможностей и контроля работоспособности САР процесса отопления по фасадам здания с применением теплообменников.
4. Автоматизированный мониторинг систем отопления в составе АСДУ с учетом особенностей фасадного регулирования.
5. Разработка системы резервирования и удаленного управления ресурсами АСДУ посредством сотовых сетей GSM/GPRS.

Внедрение результатов исследований. Результаты исследований, связанные с внедрением АСДУ процессом отопления зданий, вошли в состав демонстрационной зоны по энергосбережению БГТУ им. В.Г. Шухова по НИР программы «Энергосбережение Минобразования России» «Разработка и внедрение многоуровневой автоматизированной системы диспетчерского управления для распределенных энергосистем зданий третьей, четвертой и пятой очереди БелГТАСМ», 2002-2004 г., Минобразования и науки РФ. Кроме того, результаты исследований вошли в состав демонстрационной зоны по энергосбережению БелГУ по хоздоговору №21/03 «Разработка опытного образца АСДУ распределенными энергоресурсами комплекса учебных корпусов Белгородского государственного университета в рамках создания демонстрационной зоны по энергосбережению», 2003-2004 гг., Белгородский государственный университет. Положения, разработки и научно-практические исследования использовались в Белгородском филиале ОАО «Вымпелком».

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на следующих научно-технических конференциях и форумах: Энерго- и ресурсосбережение и нетрадиционные возобновляемые источники энергии, Екатеринбург (2001 г.); Международный студен-

ческий форум, Белгород (2002 г.); Региональная конференция студентов и учащихся: Шаг в будущее, Воронеж (2002 г.); Международная научная конференция: Системный подход в науках о природе, человеке, технике. Таганрог (2003 г.); Труды XI Всероссийской научно-методич. конф. «Телематика' 2004», Санкт-Петербург (2004 г.); Информационные технологии в науке, образовании и производстве, Орел (2004 г.); Информационные технологии в управлении и моделировании, Белгород (2005 г.).

Связь с научно-техническими и другими программами. Проводимые работы выполнялись в рамках программы Министерства образования и науки РФ «Энергосбережение Минобразования России на 1998-2005 годы» и региональной программы «Энергосбережение», начиная с 2001 года. Кроме того, работа выполнялась по научной программе Минобразования РФ «Федерально-региональная политика в науке и образовании», в подпрограмме 2. Научно-методическое обеспечение региональной научно-технической, инновационной и образовательной политики Минобразования России и в разделе 2.2. Научно-методическое обеспечение энергосбережения и ведомственного кадастра подведомственных организаций по проекту на 2003 г., а также в разделе 2. Научно-методическое обеспечение пожаробезопасности, энергосбережения и ведомственного кадастра подведомственных организаций на 2004 г.

Основные положения диссертации, которые выносятся на защиту:

- результаты экспериментальных исследований процесса отопления здания с применением теплообменников;
- математическая модель управления процессом отопления здания при независимом присоединении к тепловым сетям с учетом нелинейных процессов, протекающих в теплообменнике;
- структуры систем и алгоритмы автоматической подпитки и контроля за утечками теплоносителя, автоматического контроля работоспособности и отключения теплообменников с подключением энергоэффективной зависимой схемы теплоснабжения, автоматического регулирования отопления по двум фасадам здания на основе одного теплообменника с учетом особенностей подключения систем отопления;
- технические решения для расширения функциональных возможностей и контроля работоспособности САР отопления по фасадам здания с применением теплообменников.

Публикации. Основные положения работы изложены в 9 печатных работах и в одном изобретении.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 142 страницах машинописного текста, включающего 3 таблицы, 67 рисунков, список литературы из 111 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования. Отмечено, что среди существующих статей коммунальных расходов преобладающими являются расходы на тепловую энергию, среди которых к самой затратной статье относятся расходы на отопление зданий, составляющие более 60%.

Учитывая столь высокую энергоемкость, актуальными являются задачи по повышению эффективности существующих систем автоматизации процесса отопления, включая задачи не только обеспечения энергосбережения, но и повышения надежности и срока эксплуатации систем, контроля работоспособности и повышения качества процесса отопления.

Автоматизация процесса отопления здания при централизованном теплоснабжении рассматривалась в работах Чистовича С.А., Туркина В.П., Зингера Н.М., Ливчака В.И., Соколова Е.Я. и других. Особенности систем с пофасадным регулированием занимались Туркин В.П., Чистович С.А. и другие. Математическое моделирование теплового режима здания рассматривали Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. и другие. Способ регулирования в системах отопления (СО), горячего водоснабжения по температуре теплоносителя в обратном трубопроводе был предложен Локшиным Л.С.

В первой главе рассмотрены существующие подходы к управлению процессом отопления здания, которые включают: регулирование подачи теплоносителя в индивидуальном тепловом пункте при зависимом или независимом присоединении к наружным тепловым сетям; индивидуальное регулирование подачи теплоносителя в отопительные приборы, при этом каждый отопительный прибор снабжен локальным регулятором; пофасадное регулирование подачи теплоносителя, при котором каждый фасад здания имеет собственную САР отоплением, причем система отопления может быть присоединена к централизованному теплоснабжению по зависимой или независимой схеме; пофасадное регулирование расходом теплоносителя с одним теплообменником, при этом температура теплоносителя, подаваемого в систему отопления северного фасада, регулируется по возмущению, а температура теплоносителя, подаваемого в систему отопления юж-

ного фасада, регулируется по отклонению. Основная особенность управления процессом отопления здания системы централизованного теплоснабжения при независимом присоединении к тепловым сетям с учетом фасадного регулирования связана с созданием нормальных температурных условий для работы в помещениях в протяженных в плане зданиях и соответственно расположенных относительно сторон света.

К недостаткам существующих подходов относится следующее: регулирование подачей теплоносителя в индивидуальном тепловом пункте не учитывает влияние внешних возмущающих воздействий на фасады здания и не позволяет обеспечить равномерного распределения температуры по помещениям здания; в существующих САР отопления по двум фасадам здания с применением двух теплообменников нет возможности контроля за утечками теплоносителя в системах отопления и определения зон утечек; невысокая надежность использования двух теплообменников для двух фасадов здания с учетом автоматического регулирования теплового режима системы отопления по фасадам; отсутствие в системе отопления зданий возможности проведения регламентных работ на теплообменниках в отопительный период, а также относительно высокая стоимость системы автоматического регулирования в целом за счет применения энергоэффективного оборудования на каждый фасад здания. Также существует проблема организации сбора информации о внешних возмущающих воздействиях и температуре показательных помещений при фасадном регулировании.

Таким образом, использование существующих подходов и систем автоматизации не позволяет достаточно эффективно управлять процессом отопления по фасадам зданий.

При рассмотрении существующих методов и математических моделей и учитывая специфику протекающих в системах теплоснабжения зданий процессов, было выявлено, что при исследованиях нестационарных задач вынужденного конвективного теплообмена используется дифференциальное уравнение в частных производных при переносе теплоты в движущейся среде с постоянной скоростью, для твердых тел используется дифференциальное уравнение теплопроводности. Для систем теплоснабжения приведены системы дифференциальных уравнений для каждого элемента системы и условия однозначности. Следует отметить, что получение аналитического решения этих уравнений в общем виде невозможно, поэтому необходимо искать пути альтернативных решений.

Следует отметить, что автоматизированные системы зданий необходимо объединять в интегрированную интеллектуальную комплекс-

ную систему для повышения оперативности управления объектами, обеспечения необходимого взаимодействия систем, обеспечения возможности наращивания и использования оборудования разных производителей. При этом необходимо применять модульный подход на основе аппаратного и программного обеспечения.

Во второй главе представлены экспериментальные исследования и разработка математической модели управления процессом отопления зданий с применением теплообменников. На основе экспериментальных исследований динамических свойств системы отопления учебных корпусов БелГУ при независимом теплоснабжении установлено, что при проектировании системы управления необходимо учитывать влияние возмущающих факторов на поведение объекта управления (ОУ), особенности теплообменника как нелинейного элемента, влияющего на канал G_1 - T_{co} , дополнительное увеличение температуры T_{co} за счет повышения T_o , влияние расхода системы отопления G_o на параметры функционирования системы, намного большую длительность переходных процессов в системе отопления, чем в других частях системы (рис. 1).

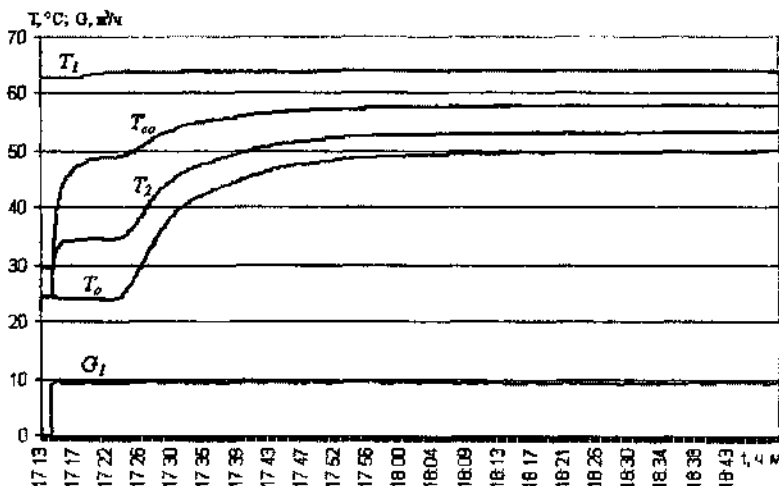


Рис. 1. Типовые переходные процессы системы отопления

Температуры T_{co} и T_o теплоносителя в системе отопления изменяются за счет изменения расхода G_1 теплоносителя из тепловой сети через теплообменник с помощью регулирующего клапана K_1 (рис. 2).

На основе проведенных экспериментальных исследований системы отопления здания представлена структура ОУ по каналу $T_{\infty} - T_o$ в виде последовательного соединения двух апериодических звеньев, а также в виде последовательного соединения звена чистого запаздывания с апериодическим звеном 1-го порядка.

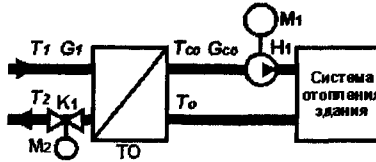


Рис. 2. Схема системы отопления с независимой схемой теплоснабжения

С помощью метода наименьших квадратов выполнена параметрическая идентификация объекта управления и произведен сравнительный анализ полученных результатов. При этом установлено, что функция потерь в 2 раза меньше в случае представления объекта управления в виде последовательного соединения звена чистого запаздывания с апериодическим звеном 1-го порядка.

Получение аналитического решения системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающей динамику процессов в теплообменнике, в общем виде невозможно, поэтому вводятся упрощения (пренебрежение сопутствующими процессами, теплопередающей стенкой и влиянием теплоемкости корпуса и потерь тепла через него; движение нагреваемого и греющего теплоносителя является одномерным; давление среды, температура пластин по периметру, теплоемкость, плотность и коэффициенты теплоотдачи считаются постоянными). Также можно пренебречь рассмотрением переходных процессов в теплообменнике, так как установлено, что длительность переходных процессов в системе отопления намного превосходит длительность переходных процессов в теплообменнике применительно к рассматриваемой системе.

Процесс теплообмена между греющим и нагреваемым теплоносителем при движении их с постоянным расходом может быть описан следующими уравнениями.

Для греющего теплоносителя в виде:

$$c \cdot \rho \cdot G_1 \cdot dT_1(x) = \alpha_1 \cdot (T_2(x) - T_1(x)) \cdot \Pi \cdot dx, \quad (1)$$

где $T_1(x)$, $T_2(x)$ - температура греющего и нагреваемого теплоносителя в сечении dx , °С, α_1 - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С),

c, ρ — теплоемкость и плотность теплоносителя, Дж/(кг·°С) и кг/м³ соответственно. Для нагреваемого теплоносителя в виде:

$$c \cdot \rho \cdot G_{co} \cdot dT_2(x) = \alpha_2 \cdot (T_2(x) - T_1(x)) \cdot \Pi \cdot dx. \quad (2)$$

Система дифференциальных уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dT_1(x)}{dx} = \beta_1 \cdot (T_2(x) - T_1(x)); \\ \frac{dT_2(x)}{dx} = \beta_2 \cdot (T_2(x) - T_1(x)). \end{cases} \quad (3)$$

После решения системы уравнений (3) с принятыми допущениями были получены функциональные зависимости температуры T_2 греющего теплоносителя на выходе и температуры T_{co} нагреваемого теплоносителя на выходе от всех параметров системы исследуемого процесса (L — длина теплопроводящей стенки, м).

$$T_2^* = \frac{T_1 \cdot e^{L \left(\frac{\gamma_2}{G_{co}} - \frac{\gamma_1}{G_1} \right)} \cdot \left(\frac{\gamma_2}{G_{co}} - \frac{\gamma_1}{G_1} \right) + T_o \cdot \frac{\gamma_1}{G_1} \cdot \left(e^{L \left(\frac{\gamma_2}{G_{co}} - \frac{\gamma_1}{G_1} \right)} - 1 \right)}{\frac{\gamma_2}{G_{co}} \cdot e^{L \left(\frac{\gamma_2}{G_{co}} - \frac{\gamma_1}{G_1} \right)} - \frac{\gamma_1}{G_1}}. \quad (4)$$

$$T_{co}^* = \frac{T_1 \cdot \frac{\gamma_2}{G_{co}} \cdot \left(e^{L \left(\frac{\gamma_2}{G_{co}} - \frac{\gamma_1}{G_1} \right)} - 1 \right) + T_o \cdot \left(\frac{\gamma_2}{G_{co}} - \frac{\gamma_1}{G_1} \right)}{\frac{\gamma_2}{G_{co}} \cdot e^{L \left(\frac{\gamma_2}{G_{co}} - \frac{\gamma_1}{G_1} \right)} - \frac{\gamma_1}{G_1}}. \quad (5)$$

С помощью экспериментальных данных определены неизвестные коэффициенты γ_1 и γ_2 , входящие в полученные зависимости. Проведен анализ и подтверждена адекватность полученной модели путем сравнения с экспериментальными данными (рис. 3).

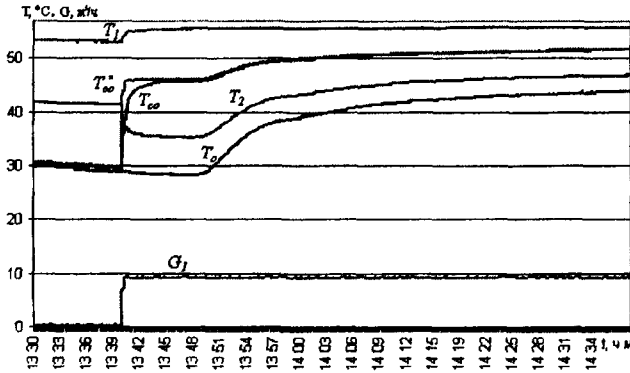


Рис. 3. Графики экспериментальных данных и результатов расчета (T_{co}^*)

Среднее арифметическое отклонение расчетной T_{co}^* от экспериментальной величины T_{co} на интервале (184 с) переходных процессов в теплообменнике от момента скачкообразного изменения расхода G_1 до выхода температуры T_{co} на установившееся значение равно 3 $^{\circ}\text{C}$, на последующем интервале (3308 с) равно 0,2 $^{\circ}\text{C}$, на всем интервале наблюдения составило 0,43 $^{\circ}\text{C}$.

Используя полученные зависимости и учитывая все вышеперечисленные допущения, управление процессом отопления здания при независимом присоединении к тепловым сетям можно представить в виде структурной схемы (рис. 4).

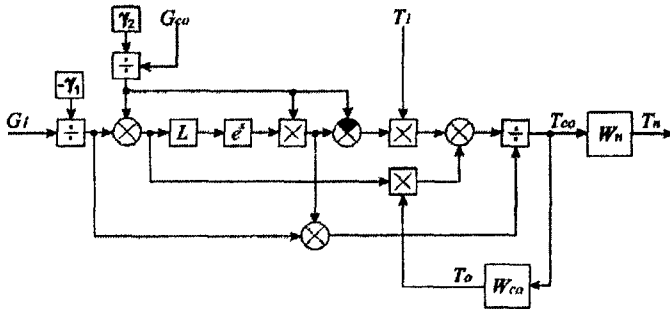


Рис. 4. Структурная схема управления процессом отопления здания при независимом присоединении к тепловым сетям

Разработанная математическая модель управления процессом отопления здания при независимом присоединении к тепловым сетям с учетом нелинейных процессов, протекающих в теплообменнике, позволяет проводить численное моделирование и исследование системы отопления здания с учетом особенностей алгоритмов фасадного регулирования.

В третьей главе представлены математическое моделирование, разработка структур и алгоритмов управления процессом отопления зданий для расширения функциональных возможностей фасадного регулирования. Один из основных недостатков фасадного регулирования для зданий с относительно сложной планировкой заключается в невозможности учета солнечных теплопоступлений по всем фасадам здания за исключением северного и воздействия ветра на любой из фасадов здания, приводящего к существенному изменению температуры в помещениях этого фасада. Для СО зданий с зависимым теплоснабжением разработана САР процессом отопления здания с учетом внешних возмущающих воздействий на фасады здания, позволяющая устранить существующие недостатки и осуществить регулирование по каждому фасаду здания (рис. 5).

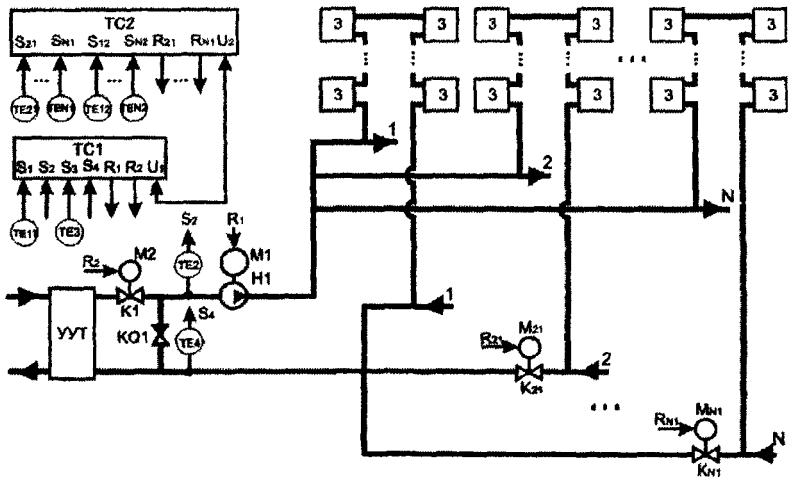


Рис. 5. Схема САР процессом отопления здания с учетом внешних возмущающих воздействий на фасады

Предлагаемое решение позволяет осуществлять автоматическое регулирование в системе отопления для создания нормального температурного режима в помещениях здания, а также увеличивает эффективность САР отопления здания с учетом внешних возмущающих воздействий на фасады здания на основе обеспечения авторегулирования по выбранным ветвям системы отопления здания.

Алгоритм работы системы представлен на рис. 6 и содержит выявление i -го фасада здания, имеющего самую низкую температуру TE_{i1} вследствие дополнительного охлаждения фасада здания под действием внешних возмущений (например, с помощью ветра). Затем на основе полученных результатов дополнительным контроллером ТС2 выдается команда для локального контроллера ТС1 о переходе на алгоритм управления с учетом температуры наружного воздуха TE_{i1} , соответствующей самому холодному фасаду здания. После сравнения данных от датчика температуры внутреннего воздуха в помещении со стороны северного фасада здания TE_{12} с данными дополнительных датчиков температуры воздуха, расположенных в других помещениях здания TE_{j2} ($\Delta = TE_{j2} - TE_{12}$), дополнительным контроллером вырабатывается управляющая команда для исполнительных механизмов, воздействующих на дополнительные регулирующие клапаны, для изменения расходов теплоносителя в зависимости от Δ в выбранных ветвях системы отопления, охватывающих фасады здания. При изменении внешних возмущающих воздействий, действующих на здание, снова вырабатывается дополнительным контроллером управляющая команда для исполнительных механизмов, воздействующих на дополнительные регулирующие клапаны для изменения расходов теплоносителя в других выбранных ветвях системы отопления.

При этом существенно расширяются функциональные возможности фасадного регулирования САР для непротяженных в плане зданий, в том числе и со сложной планировкой. В предлагаемом решении применяется иерархический метод управления системой отопления здания с учетом температурных режимов фасадов в отличие от пофасадного регулирования, состоящего из двух независимых подсистем для авторегулирования температур в системах отоплений для каждого из двух фасадов протяженного в плане здания. Оригинальность полученного решения подтверждена патентом. Это решение возможно применять и в СО при независимом присоединении к тепловым сетям.

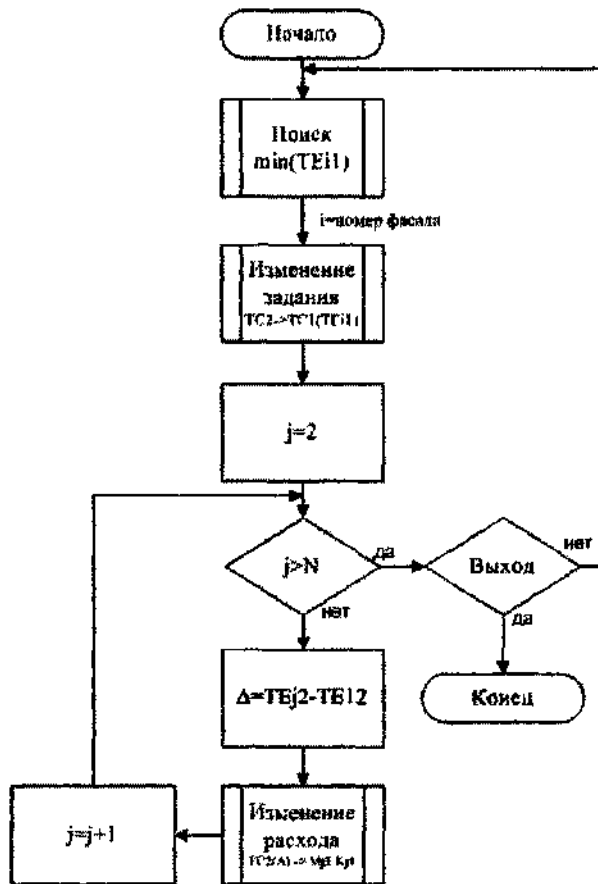


Рис. 6. Алгоритм управления процессом отопления здания с учетом внешних возмущающих воздействий на фасады

Исследован динамический режим САР процесса отопления зданий с применением теплообменников с использованием промышленных регуляторов при различных заданиях и параметрах ПИ-регулятора K_p , K_i (рис. 7). Анализ процессов показывает, что при данных коэффициентах в системе возникает большое перерегулирование, а также автоколебания, что недопустимо для системы отопления зданий. При этом увеличивается также и величина энергопотребления.

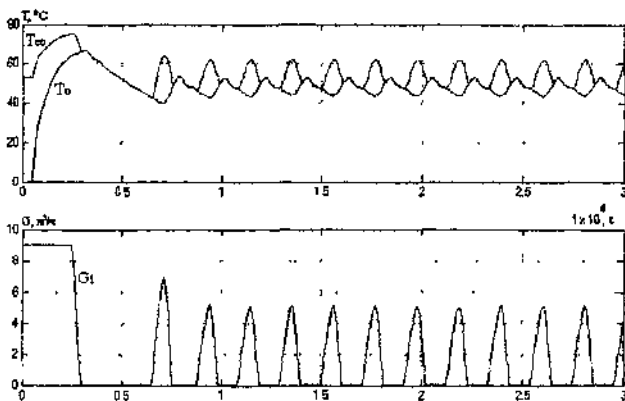


Рис. 7. Переходные характеристики системы T_{oo} , T_o , G_1 при $K_p=1$, $K_I=0,001$

Произведен выбор рациональных параметров регулятора в САР процесса отопления зданий с применением теплообменников, с помощью которых дополнительный контроллер может изменять коэффициенты ПИ-регулятора локального контроллера в зависимости от температуры наружного воздуха и задания температуры в обратном трубопроводе для обеспечения заданных условий и вида переходных процессов в системе (рис. 8).

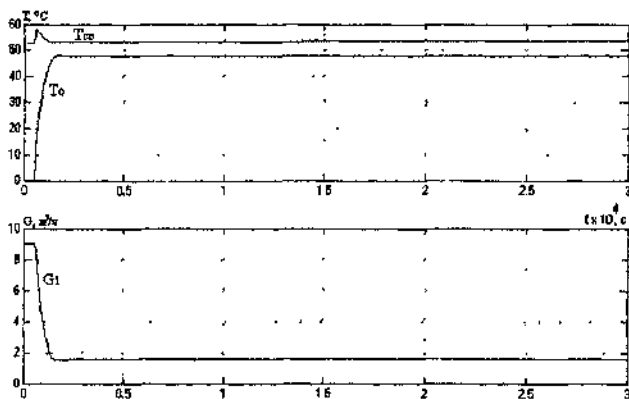


Рис. 8. Переходные характеристики системы T_{oo} , T_o , G_1 при $K_p=0,2347$, $K_I=4 \cdot 10^{-5}$

С помощью имитационного моделирования исследована эффективность введения дополнительного контура регулирования процессом отопления здания с учетом поступления инсоляционной теплоты через окна. Проведенные исследования показали, что при учете внешних (метеорологических) возмущающих факторов в фасадном регулировании можно добиться снижения теплотребления.

Особенность функционирования САР системами отопления с применением теплообменников заключается в том, что при любых утечках в контуре отопления необходимо осуществлять подпитку теплоносителем из тепловых сетей. Для решения этой задачи разработаны структура системы и алгоритмы автоматической подпитки и контроля за утечками теплоносителя, которые позволяют обеспечить работоспособность циркуляционных насосов, расширить функциональные возможности, повысить надежность функционирования САР отопления по фасадам здания и при этом обеспечить своевременное получение диспетчером информации об аварийных ситуациях путем создания связи разработанной системы с АСДУ (рис. 9).

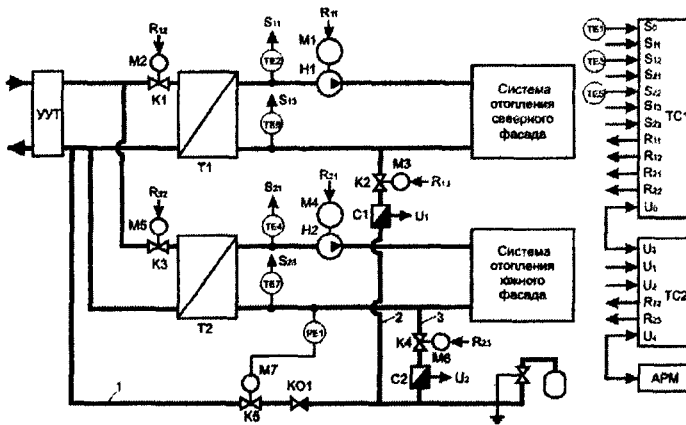


Рис. 9. Схема системы автоматической подпитки и контроля за утечками теплоносителя

Особенность функционирования САР системами отопления с применением теплообменников заключается также в том, что в процессе работы теплообменников возможно уменьшение проходного сечения за счет различных отложений и выход теплообменника из строя. При этом существует возможность потери работоспособности теплообменников при нештатных ситуациях. Для решения этих задач, а также для обеспечения

печения возможности проведения регламентных работ в отопительный период разработаны структура системы и алгоритмы автоматического контроля работоспособности и отключения теплообменников с подключением энергоэффективной зависимой схемы теплоснабжения. На рис. 10 представлен алгоритм работы системы, включающий вычисление для системы отопления каждого фасада значений расхода через теплообменник, гидравлического сопротивления регулирующего клапана и гидравлического сопротивления теплообменника. После сравнения модуля разности начального и текущего значений гидравлического сопротивления теплообменника с предельным значением R_{gr} принимается решение об отключении теплообменника системы отопления фасада,

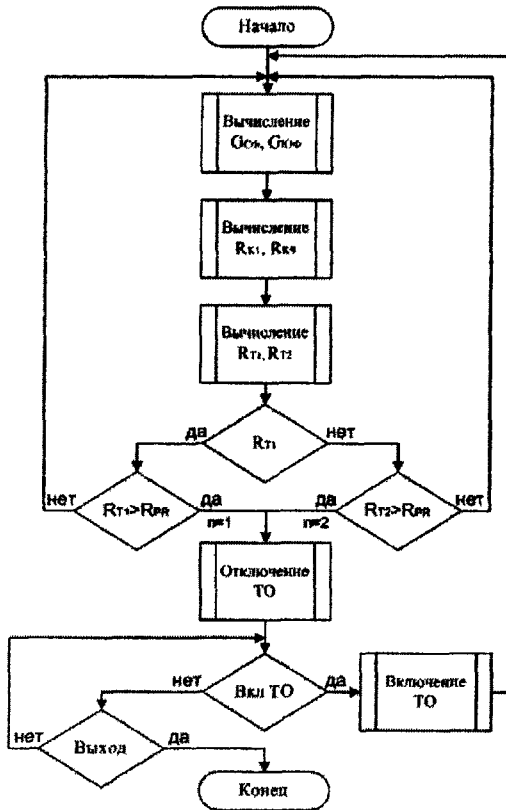


Рис. 10. Алгоритм автоматического контроля работоспособности и отключения теплообменников

работающего в аварийном режиме, с подключением энергоэффективной зависимой схемы теплоснабжения. При этом для своевременного получения информации об авариях диспетчером осуществлена связь разработанной системы с АСДУ. После устранения неисправности или проведения регламентных работ теплообменник включается в работу.

Разработаны структура системы и алгоритмы управления САР процесса отопления по двум фасадам здания на основе одного теплообменника с учетом особенностей подключения систем отопления. Это позволило увеличить эффективность САР отопления по двум фасадам здания за счет применения одного теплообменника, циркуляционного насоса и погружного датчика температуры, а также уменьшить суммарные затраты на САР в целом за счет уменьшения количества применяемого энергоэффективного оборудования (рис. 11).

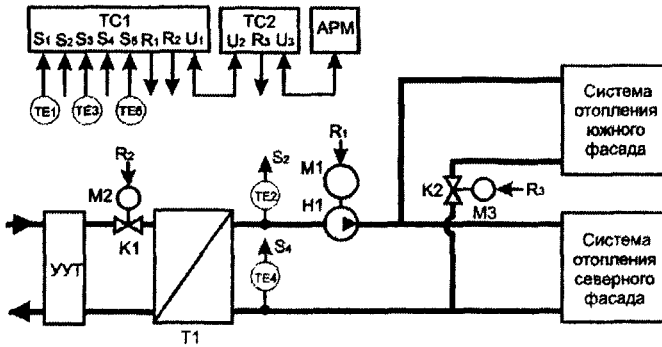


Рис. 11. Схема системы автоматического регулирования по двум фасадам здания с теплообменником

Благодаря проведенным исследованиям были расширены функциональные возможности фасадного регулирования и разработаны структуры систем, алгоритмы управления процессом отопления здания с учетом фасадного регулирования и автоматического контроля работоспособности системы отопления здания.

В четвертой главе представлены разработанные система автоматизированного мониторинга, структура АСДУ процессом отопления зданий с применением теплообменников и учетом фасадного регулирования, а также внедрение разработок для зданий образовательного назначения. При фасадном регулировании возникает задача определения значения температуры внутреннего воздуха контрольных помещений каждого фасада и возмущающих факторов, действующих на

фасады здания (интенсивность солнечной радиации, скорость и направление ветра, влажность и атмосферное давление). Для решения поставленных задач разработан комплекс мероприятий для автоматизированного сбора информации о значениях температур внутреннего воздуха фасадов и возмущающих воздействиях на фасады здания, который позволил разработать автоматизированную систему мониторинга в составе АСДУ.

Для эффективного управления распределенными энергосистемами и инженерным оборудованием зданий, а также обеспечения экономии и рационального использования энергоресурсов была разработана АСДУ отоплением зданий Белгородского государственного университета (БелГУ) на основе использования стандартных промышленных средств автоматизации для систем отопления с применением открытой архитектуры и программных средств, ориентированных на использование в промышленных системах. На основе исследований зданий образовательного назначения разработаны технические решения для нижнего и среднего уровней АСДУ, выполняющие специализированные функции:

- автоматизированный мониторинг значений температур в помещениях отдельных фасадов и внешних возмущающих воздействий;
- изменение программных заданий локальному регулятору с учетом внешних возмущающих воздействий и регулировка расходов теплоносителя по ветвям;
- оценка процесса развития аварийной ситуации при порывах, возникших в одной из систем отопления здания;
- обеспечение возможности проведения регламентных работ в отопительный период на теплообменниках, а также анализ работоспособности теплообменников для возможности определения аварийного режима работы теплообменника с возможностью подключения энергоэффективной зависимой схемы теплоснабжения;
- управление САР отопления по двум фасадам здания на основе одного теплообменника.

Учитывая сложность современных АСДУ, большую протяженность линий связи между объектами и наличие большого количества несовместимых протоколов связи, возникает задача повышения надежности, гибкости функционирования и открытости систем. Для этого разработано удаленное управление ресурсами АСДУ, позволяющее повысить надежность ее функционирования путем добавления нескольких резервных каналов передачи данных. При этом возможно осуществлять оперативно-диспетчерский контроль, причем диспетчер может не только иметь полную информацию о состоянии и параметрах функционирова-

ния АСДУ, получать уведомления в случае аварий, но и принимать оперативные решения, не привязываясь к своему местоположению.

В составе АСДУ разработана информационная подсистема администрирования технологической сети, позволяющая автоматизировать программирование контроллеров среднего и нижнего уровней, создавая небольшие многоканальные локальные системы сбора данных и управления, независимые от конкретного оборудования. Данная подсистема позволила исключить независимую разработку программного обеспечения для различных уровней АСДУ, которая требовала отдельно отлаживать и тестировать программное обеспечение каждого уровня. С использованием разработанного комплекса можно автоматизировать типовые задачи, выполняемые контроллерами нижнего или среднего уровней, например, циклический опрос параметров состояния процесса, запись уставок и другие операции.

Из разработанных технических решений для развития и расширения функциональных возможностей САР отопления по фасадам здания с применением теплообменников внедрены в комплексе зданий БелГУ система автоматической подпитки и контроля за утечками теплоносителя и система автоматического контроля работоспособности и отключения теплообменников.

Анализ эффективности работы АСДУ распределенными энергосистемами зданий за 2004 г. в целом показал, что полученная экономия тепла по вузу составила около 2870 Гкал, причем основная ее часть приходится на I квартал, а максимальная зафиксирована в марте, порядка 770 Гкал.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. При разработке системы управления отоплением зданий при независимом присоединении к тепловым сетям на основе анализа экспериментальных исследований динамических свойств системы установлено, что необходимо учитывать следующие факторы:

- большую инерционность системы отопления как объекта управления, при этом длительность переходных процессов в системе отопления на порядок выше, чем в других элементах системы;
- существенное влияние внешних возмущающих воздействий на рабочий режим системы;
- особенности теплообменника как нелинейного элемента системы;
- влияние расхода теплоносителя системы отопления G_{ω} на параметры функционирования системы.

2. Выполнена параметрическая идентификация системы отопления здания как объекта управления, представленного в виде апериодического звена 2-го порядка ($E=52,7$) и последовательного соединения звена чистого запаздывания с апериодическим звеном 1-го порядка ($E=27,3$). При этом установлено, что функция потерь E в 2 раза меньше для случая параметрической идентификации объекта управления, представленного в виде последовательного соединения звена чистого запаздывания с апериодическим звеном 1-го порядка.

3. Разработана математическая модель управления процессом отопления здания при независимом присоединении к тепловым сетям с принятыми допущениями и учетом особенностей теплообменника как нелинейного распределенного элемента системы. Сравнительный анализ численных расчетов и экспериментальных данных подтвердил адекватность модели (на всем интервале наблюдения среднее арифметическое отклонение расчетной T_{∞} от экспериментальной величины T_{∞} составило $0,43^{\circ}\text{C}$).

4. Определены рациональные параметры регулятора для обеспечения заданных условий и вида переходных процессов в САР процесса отопления зданий с применением теплообменников.

5. С помощью имитационного моделирования подтверждена эффективность введения дополнительного контура регулирования процессом отопления здания с учетом поступления инсоляционной теплоты через окна.

6. Разработаны структура САР и алгоритмы управления процессом отопления здания с учетом внешних возмущающих воздействий на фасады здания. Эффективность функционирования системы обеспечивается с помощью регулирования по ветвям системы отопления фасадов здания.

7. Разработаны структуры систем и алгоритмы:

- автоматической подпитки и контроля за утечками теплоносителя для развития и расширения функциональных возможностей фасадного регулирования;

- автоматического контроля работоспособности и отключения теплообменников с подключением энергоэффективной зависимой схемы теплоснабжения;

- автоматического регулирования отопления по двум фасадам здания на основе одного теплообменника с учетом особенностей подключения систем отопления.

8. Разработано удаленное управление ресурсами АСДУ, позволяющее повысить надежность ее функционирования путем добавления

нескольких резервных каналов передачи данных, а также осуществлять оперативно-диспетчерский контроль.

9. Разработана информационная подсистема администрирования технологической сети АСДУ, позволяющая автоматизировать программирование контроллеров среднего и нижнего уровней и исключить независимую разработку программного обеспечения для различных уровней АСДУ.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Костриков, С.В. Способы удаленного наблюдения параметров автоматизированной системы диспетчерского управления распределенной энергосистемой зданий через Интернет / С.В. Костриков // Сб. материалов Всероссийской науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых: Энерго- и ресурсосбережение и нетрадиционные возобновляемые источники энергии. - Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2001. - С. 102-104.

2. Костриков, С.В. Использование Softlogic-систем при разработке АСУТП / С.В. Костриков // Сб. тез. докл. Международного студенческого форума. - Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. - С. 269-271.

3. Костриков, С.В. Автоматизированный комплекс разработки программного обеспечения для нижнего уровня систем диспетчерского управления / С.В. Костриков // Сб. тез. докл. Региональной конференции студентов и учащихся: Шаг в будущее. - Воронеж, 2002. - С.176-178.

4. Потапенко, Е.А. Нечеткая идентификация систем теплоснабжения / Е.А. Потапенко, А.Г. Филатов, С.В. Костриков // Материалы международной научной конференции: Системный подход в науках о природе, человеке, технике. Ч. 4. - Таганрог: ТРТУ, 2003. - С. 96-98.

5. Белоусов, А.В. Особенности структуры автоматизированной системы диспетчерского управления комплекса Белгородского государственного университета / А.В. Белоусов, Е.А. Потапенко, С.В. Костриков // Труды XI Всероссийской научно-методич. конф. «Телематика' 2004». - Санкт-Петербург: Изд-во С-ПГИТМО, 2004. - Том 1. Секции А, В, С. - С. 85-86.

6. Белоусов, А.В. Особенности автоматизированной системы диспетчерского управления зданиями БелГУ / А.В. Белоусов, А.Н. По-

тапенко, С.В. Костриков // Информационные технологии в науке, образовании и производстве: Сб. научн. тр. межд. научно-техн. конф. - Орел: Изд-во ОрелГТУ, 2004. - С. 120-124.

7. Пат. 2247422 Российская Федерация, МПК⁷ G05D23/19. Система автоматического регулирования отопления здания с учетом климатических факторов / А.Н. Потапенко, А.В. Белоусов, Е.А. Потапенко, С.В. Костриков; Белгор. гос. технол. акад. строит. материалов. - № 2004114598/28; заявл. 13.05.2004; опубл. 27.02.2005; Бюл. № 6.

8. Костриков, С.В. Построение математической модели объекта управления системы централизованного теплоснабжения при независимом присоединении к тепловым сетям / С.В. Костриков // Информационные технологии в управлении и моделировании: Сб. докл. Международной науч.-технич. Интернет-конференции. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. - С. 86-88.

9. Костриков, С.В. Система удаленного управления ресурсами АСДУ посредством сотовых сетей GSM/GPRS / С.В. Костриков // Информационные технологии в управлении и моделировании: Сб. докл. Международной науч.-технич. Интернет-конференции. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. - С. 89-90.

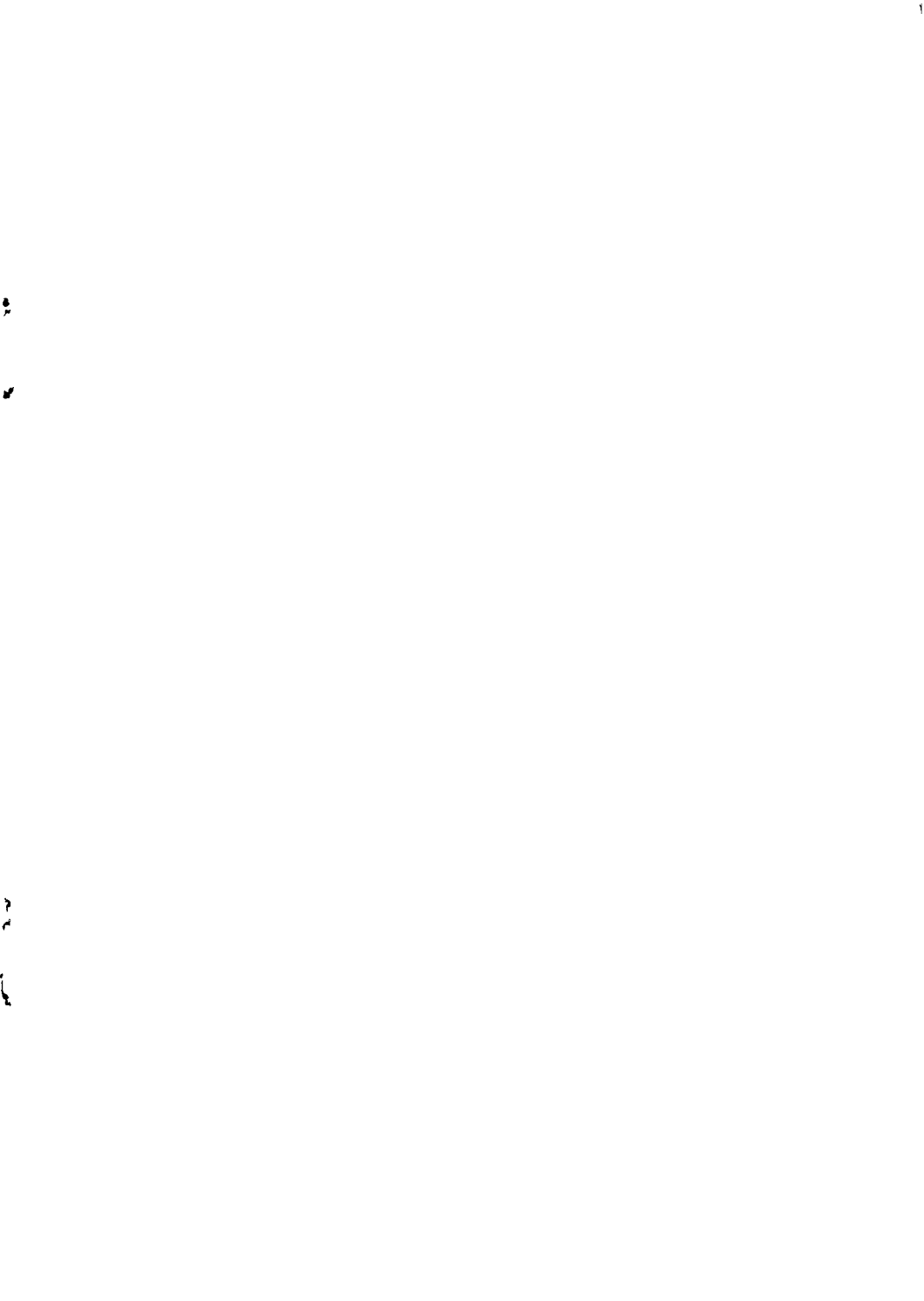
10. Костриков, С.В. Экспериментальные исследования динамических свойств системы централизованного теплоснабжения при независимом присоединении к тепловым сетям / С.В. Костриков // Информационные технологии в управлении и моделировании: Сб. докл. Международной науч.-технич. Интернет-конференции. - Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. - С. 91-93.

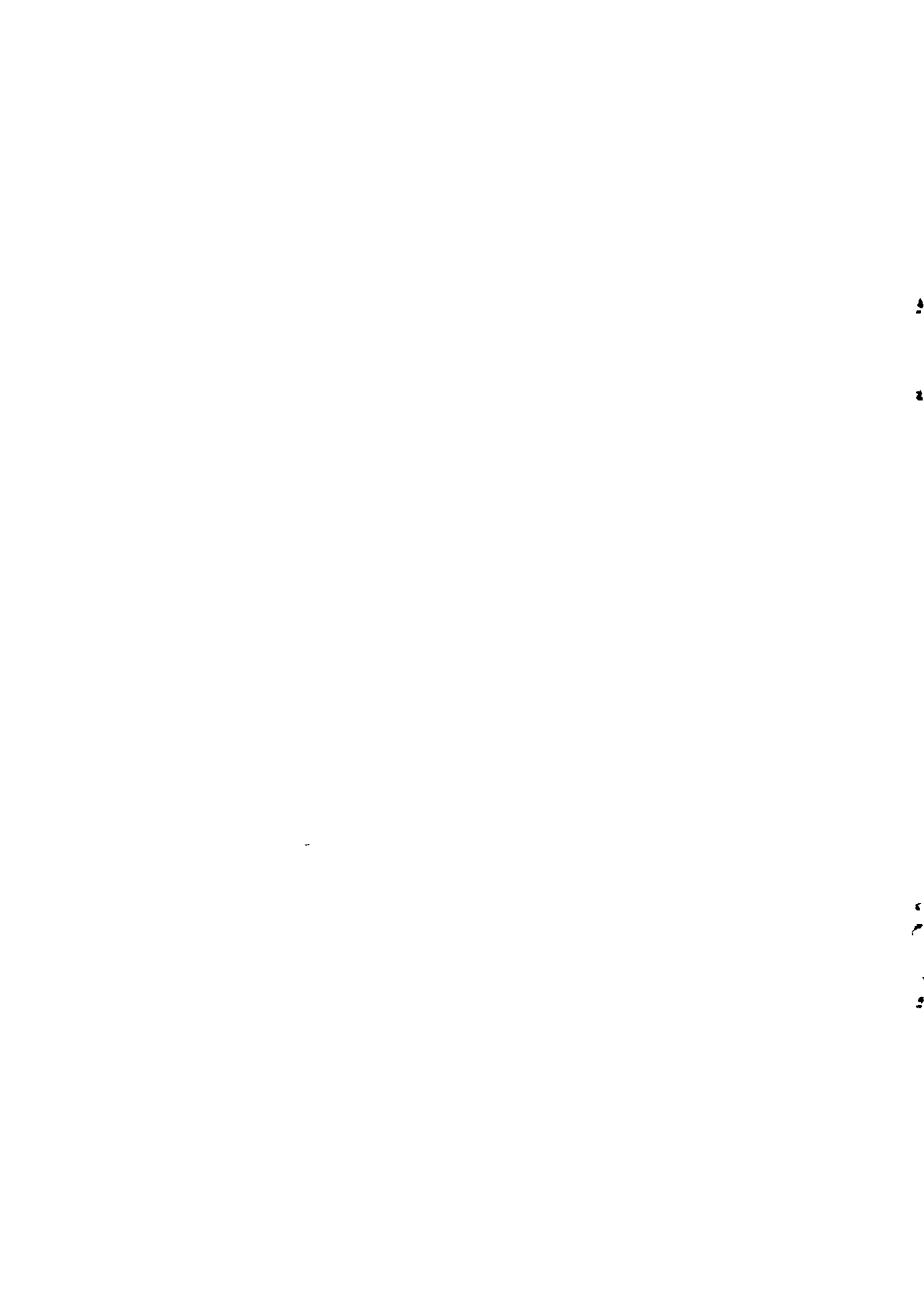
Автор выражает признательность научному консультанту к.т.н. Белоусову А.В. за оказанную помощь в проведении исследований и обсуждении результатов работы.

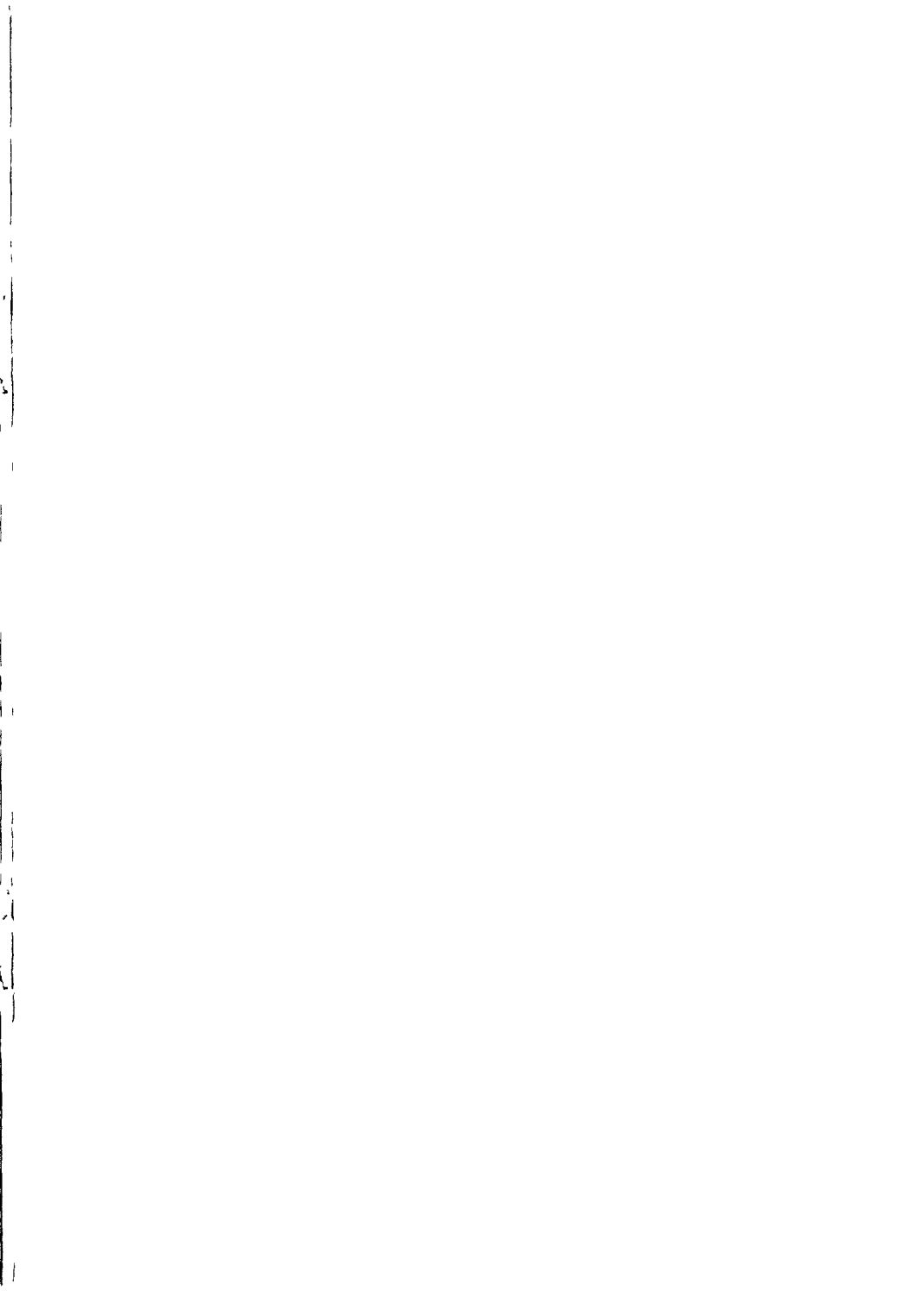
Подписано в печать 20.09. 2005 г.

Формат 60x84/16. Усл. п. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 9150.

Отпечатано в ГП «Белгородская областная типография»,
г Белгород, пр Б Хмельницкого, 111а, тел 26-25-63.







#16633

РНБ Русский фонд

2006-4

15020