

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Вороновський Геннадій Кирилович

УДК 621.311.22-52

**АВТОМАТИЗОВАНЕ ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ
ЦЕНТРАЛІЗОВАНИМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯМ
В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

05.13.07 - Автоматизація технологічних процесів

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

Харків - 2003

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти та науки України

Науковий консультант

доктор технічних наук, професор
Куценко Олександр Сергійович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”, за-
відувач кафедри системного аналізу і
управління

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, доцент **Теленік Сергій Федорович**, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут” МОН України, м. Київ, завідувач кафедри автоматичної системи управління в технічних системах;

- доктор технічних наук, професор **Міхальов Олександр Ілліч**, Національна металургійна Академія України МОН України, м. Дніпропетровськ, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем;

- доктор технічних наук, професор **Єфімов Олександр В'ячеславович**, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут” МОН України, м. Харків, завідувач кафедри парогенераторобудування.

Провідна установа:

Науково-виробнича корпорація “Київський інститут автоматичної системи управління”, Державне науково-виробниче підприємство “Автоматизовані системи теплових електростанцій”, Міністерство промислової політики України, м. Київ.

Захист відбудеться “ 26 ” червня 2003 р. о 14-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків-2, вул. Фрунзе 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, 61002, м. Харків-2, вул. Фрунзе 21.

Автореферат розісланий “ 23 ” травня 2003 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. Є. Голоскоков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Труднощі в постачанні регіонів України електрикою і теплом, що виникли в останні роки в зв'язку з гострим дефіцитом паливно-енергетичних ресурсів, продемонстрували нездатність існуючої організаційної структури паливно-енергетичного комплексу адаптуватися до економічних реалій перехідного періоду. В практиці управління централізованим теплопостачанням по теперішній час застосовується метод центрального якісного регулювання (ЦЯР), згідно з яким управління відпуском тепла здійснюється шляхом зміни температури прямої мережної води у функції від середньодобової температури зовнішнього повітря. Однак у реальних умовах у зв'язку з дефіцитом палива відбувається повсюдне порушення нормативного опалювального графіка, що призводить до істотного погіршення мікрокліматичних умов для споживачів. Колективною реакцією населення на зниження температури в житлах є так званий побутовий “дотоп” - масове використання для обігріву житлових приміщень електронагрівальних приладів і кухонних плит, наслідком якого є перевитрата електроенергії і природного газу в житлово-комунальному секторі в порівнянні з їхнім споживанням в умовах нормального теплопостачання. В результаті в періоди різких похолодань стрімко росте електричне навантаження міської електромережі, падає тиск у газових мережах, що спричиняє значну перевитрату як коштів, так і первинних енергоресурсів. В умовах дефіциту паливних ресурсів в Україні виникає нагальна потреба в модернізації принципів побудови систем управління теплопостачанням на основі принципово нових концепцій, здатних забезпечити компроміс між економічністю і якістю теплопостачання.

З погляду теорії управління, традиційна технологія управління теплопостачанням, що націлена на підтримку заданої середньої температури в опалюваних приміщеннях при будь-якій зміні зовнішньої температури, реалізує принцип управління по збуренню. Відсутність зворотного зв'язку, тобто контролю фактичного стану опалюваних приміщень, призводить до значної перевитрати палива в період відлиг та істотного зниження якості обігріву в період похолодань. Організація поточного безпосереднього контролю фактичного теплового стану опалюваних приміщень з метою побудови замкнених систем управління теплопостачанням зі зворотним зв'язком по стану об'єкта управління нашоувхується на істотні технічні труднощі, які пов'язані з виміром температури в надто великій кількості приміщень, і не може бути прийнята за основу при модернізації існуючих систем централізованого теплопостачання. У зв'язку з цим виникає нагальна потреба в створенні методики контролю фактичного теплового стану опалюваних приміщень без безпосереднього виміру внутрішніх температур, тобто в умовах неповної інформації, а також в побудові замкнених систем управління теплопостачанням зі зворотним зв'язком із застосуванням доступної інформації про надлишкове енергоспоживання як кількісної міри незадоволеного попиту споживачів на тепло. Ця ідея відкриває шляхи для практичного втілення принципу управління зі зворотним зв'язком по стану в автоматизованих системах керованого теплопостачання.

Створення автоматизованих теплофікаційних систем на базі замкненої системи управління відпуском тепла, що використовує контроль надлишкового споживання енергії в побутовому секторі, є складною науково-технічною проблемою. Її вирішення вимагає попереднього розв'язання ряду нових науково-технічних задач, що забезпечують створення науково-методичної, алгоритмічної і програмно-технічної бази автоматизації оперативного управління теплопостачанням із застосуванням нових технологій управління відпуском теплової енергії від крупних джерел централізованого теплопостачання, зокрема інтелектуальних інформаційних технологій підтримки прийняття рішень, що і визначає **актуальність** теми дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, виконані в дисертаційній роботі, були зв'язані з науково-дослідними роботами, які виконувались в НТУ “ХПІ” за планом Міністерства освіти і науки України: темою М 3407 “Розробка принципів і алгоритмів управління енергетичними й електро-механічними системами з застосуванням штучних нейроподібних мереж і генетичних алгоритмів” (№ ДР 0197U001893); темою М 3409 “Методи нейронних мереж і генетичних алгоритмів при програмному забезпеченні удосконалення комплексного енергопостачання споживачів в умовах енергоринку” (№ ДР 0100U001657); темою М 7213 “Розробка теорії і методики синтезу складних робастних систем управління з адаптивними прогнозуючими зворотними моделями в умовах невизначеності” (№ ДР 0100U001080).

Роль здобувача у виконанні зазначених науково-дослідних робіт полягала в розробці нейромережових інформаційних технологій управління, зокрема для вирішення задач автоматизації технологічних процесів відпуску тепла, та в удосконаленні методів управління в умовах невизначеності стосовно задач централізованого теплопостачання.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка й обґрунтування нової концепції автоматизації управління теплопостачанням на основі контролю надлишкового енергоспоживання, розробка методичних, теоретичних і інженерно-технічних основ побудови, методів аналізу і синтезу систем автоматизованого оперативного управління відпуском тепла в умовах невизначеності, що забезпечують задоволення попиту споживачів, підвищення ефективності функціонування системи теплопостачання та економію паливно-енергетичних ресурсів.

Відповідно до зазначеної мети дисертаційна робота містить постановку та вирішення наступних основних задач:

1. Оцінка потенціалу енергозбереження в умовах централізованого теплопостачання міст і обґрунтування нової концепції автоматизованого управління відпуском тепла з застосуванням непрямого контролю рівня попиту на тепло з боку побутових споживачів;

2. Дослідження та ідентифікація процесів сумісного споживання житловими масивами паливно-енергетичних ресурсів і розробка на цій основі еталонів енергоспоживання з метою отримання інформації про рівень надлишкового енергоспоживання;

3. Розробка комплексу критеріїв для непрямого оцінювання якості централізованого теплопостачання за даними про поточне споживання паливно-енергетичних ресурсів житловими масивами;

4. Теоретичне обґрунтування методу управління теплопостачанням на основі непрямого виміру відхилення внутрішньої температури в опалюваних приміщеннях від комфортного рівня шляхом контролю інтенсивності надлишкового енергоспоживання і розробка принципів побудови комбінованих систем автоматизованого оперативного управління відпуском тепла.

5. Розробка математичної та імітаційної моделей замкненої системи керованого теплопостачання з урахуванням факторів невизначеності, обумовлених неповнотою інформації про об'єкт управління і поведінку ансамблю побутових споживачів.

6. Розробка методів синтезу регуляторів відпуску тепла, що використовують інформацію про зовнішню температуру і про рівень надлишкового енергоспоживання, на основі аналізу процесів управління в замкненій системі керованого теплопостачання і вибору раціональних режимів її функціонування;

7. Розробка методів компенсації транспортного запізнення теплоносія при автоматизованому управлінні теплофікаційним енергоблоком у режимах керованого відпуску тепла;

8. Розробка методів синтезу нечітких адаптивних регуляторів відпуску тепла в умовах невизначеності на основі лінгвістичного опису змінних, що вимірюються і регулюються;

9. Розробка методів і алгоритмів адаптивного прогнозування сумісного споживання паливно-енергетичних ресурсів у житлово-комунальному секторі на основі нейромережових інформаційних технологій;

10. Розробка інтелектуальних методів і алгоритмів підтримки прийняття рішень по відпуску тепла в умовах неповної інформації на основі прогнозування енергоспоживання;

11. Моделювання і тестування алгоритмів прогнозування рівня енергоспоживання і управління процесом відпуску тепла з метою оцінки їхньої якості і розробки методики вибору та оптимізації їх налагоджувальних параметрів;

12. Розробка принципів побудови і практична реалізація автоматизованих систем оперативного моніторингу і управління якістю централізованого теплопостачання житлових масивів на основі контролю рівня надлишкового енергоспоживання.

Об'єкт дослідження: технологічні процеси централізованого керованого теплопостачання житлових масивів міст.

Предмет дослідження: автоматизовані системи оперативного управління відпуском тепла від великих джерел централізованого теплопостачання.

Методи досліджень: при вирішенні поставлених задач використовувалися методи системного аналізу і теорії управління, методи інтелектуального управління в умовах неповної інформації, зокрема, методи управління на основі прогнозуючих моделей, нейромережові інформаційні технології управління і нечіткі методи прийняття рішень. Оцінка розроблених методів здійснювалася методами імітаційного моделювання та аналізу експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Основний науковий результат роботи полягає в розробці та обґрунтуванні нової концепції побудови автоматизованих систем управління тепlopостачанням міст від великих централізованих джерел в умовах неповної інформації стосовно попиту споживачів на тепло із застосуванням принципу замкненого управління по рівню надлишкового енергоспоживання.

Наукові результати, одержані в дисертаційній роботі, полягають у наступному:

1. Вперше запропоновано і науково обґрунтовано принцип побудови автоматизованих систем оперативного управління процесом тепlopостачання, що поєднує управління по збуренню на основі нормативного температурного опалювального графіка і управління за зворотним зв'язком по тепловому стану опалюваних житлових масивів на основі контролю рівня надлишкового енергоспоживання.

2. Удосконалено систему критеріїв оцінки якості управління тепlopостачанням на основі оперативного контролю рівня споживання паливно-енергетичних ресурсів житловими масивами.

3. Дістала подальшого розвитку методика синтезу еталонів енергоспоживання з метою одержання інформації про надлишкове споживання паливно-енергетичних ресурсів для оперативного контролю якості тепlopостачання і рівня побутового дотопу.

4. Вперше теоретично обґрунтована можливість використання інформації про рівень надлишкового енергоспоживання для непрямої оцінки теплового стану опалюваних приміщень і рівня попиту побутових споживачів на тепло.

5. Вперше запропонована структура і встановлені потрібні режими функціонування замкненої системи управління відпуском тепла, що забезпечують одержання інформації про відхилення внутрішньої температури від комфортного значення і зниження надлишкового енергоспоживання.

6. Вперше знайдені умови існування і знайдені оцінки параметрів багаточастотних автоколивальних процесів у замкнених багатоконтурних системах управління тепlopостачанням із синтезованими регуляторами відпуску тепла.

7. Дістала подальшого розвитку методика синтезу дискретних адаптивних систем управління теплофікаційним енергоблоком, що забезпечують компенсацію транспортного запізнення теплоносія.

8. Вперше розроблено метод синтезу адаптивних нечітких регуляторів відпуску тепла в умовах невизначеності на основі лінгвістичного опису змінних, що вимірюються і регулюються.

9. Дістали подальшого розвитку методи адаптивного прогнозування процесів енергоспоживання на основі нейромережових інформаційних технологій.

10. Вперше розроблена нейромережева прогнозуюча модель сумісного споживання паливно-енергетичних ресурсів у комунально-побутовому секторі.

11. Вперше розроблені методи інтелектуального управління процесами відпуску тепла в умовах невизначеності на основі нейромережових регуляторів із прогнозуючими моделями.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтованість і вірогідність наукових положень дисертаційної роботи

підтверджуються коректним використанням сучасних методів аналізу і синтезу систем управління, результатами моделювання і тестування розроблених методів і алгоритмів прогнозування і управління, а також результатами практичного впровадження розроблених автоматизованих систем.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значимість результатів роботи обумовлена підвищенням ефективності процесів автоматизованого управління теплопостачанням від великих джерел, а саме, більш повним задоволенням попиту побутових споживачів на тепло і зниженням витрат паливно-енергетичних ресурсів за рахунок удосконалення алгоритмів управління відпуском тепла. Результати роботи використані і практично реалізовані при розробці алгоритмів, інформаційного і програмного забезпечення:

- автоматизованої інформаційної системи моніторингу якості теплопостачання житлових масивів, що забезпечує оперативний збір, аналіз і відображення інформації про еталонний і фактичний рівень електроспоживання і відпуск тепла від Харківської ТЕЦ-5, а також оцінку і прогнозування надлишкового енергоспоживання сумісно з прогнозом температури зовнішнього повітря;

- підсистеми управління якістю теплопостачання та інтелектуальної підтримки прийняття рішень по відпуску тепла в складі автоматизованої системи централізованого теплопостачання, що забезпечує короткострокове планування добових обсягів виробництва електричної і теплової енергії на ТЕЦ і оптимізацію завантаження енергетичного устаткування.

Розроблену на основі результатів роботи автоматизовану систему моніторингу якості теплопостачання впроваджено на ДП “Харківська ТЕЦ-5” та АК “Харківобленерго” (акт від 20.11.2002 р.) і в диспетчерській службі КП “Харківські теплові мережі” (акт від 28.11.2002 р.). Впровадження результатів і досягнутий технічний і соціально-економічний ефект підтверджуються також висновком науково-технічної експертизи Асоціації “Укртеплоелектроцентрально” (протокол від 29.03.2001 р.) і висновком Департаменту стратегічної політики і перспективного розвитку ПЕК Мінпаливенерго України (висновок від 10.12.2002 р.).

Результати дисертаційної роботи використані Інспекцією Держенергонагляду в Харківській області Північної електроенергетичної системи НЕК “Укренерго” при розробці проектів галузевих інструкцій “Нормування якості теплопостачання житлових масивів, що одержують теплову енергію від великого джерела централізованого теплопостачання” і “Ідентифікація приєднаного теплового навантаження великого джерела централізованого теплопостачання по оперативним даним сумісного споживання теплової та електричної енергії житловими масивами, розташованими в його тепловому районі”, а також стандарту підприємства “Планування добових обсягів відпуску теплової енергії в теплофікаційну мережу міста Харкова від Харківської ТЕЦ-5” (акт від 3.12.2002 р.).

Наукові і науково-методичні положення, одержані в дисертації, використовуються в навчальному процесі кафедри системного аналізу і управління та кафедри електричних станцій НТУ “ХП” (довідка від 20.01.2003 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертації, що виносяться на захист, одержані автором самостійно. У роботах, написаних і опублікованих у співавторстві, автору належать наступні результати: у [1, 30, 32, 34] за-

пропонована загальна методика розробки і застосування модифікованих нейромережових предикторів, налагоджуваних за допомогою генетичних алгоритмів; у [3, 36] запропоновано методику синтезу нейромережової моделі теплового стану опалюваного приміщення; у [4, 35] розроблено методику аналізу чутливості прогнозуючих моделей на основі нейронних мереж; у [6] запропонована ідея використання нейронних мереж для спектрального аналізу часових рядів енергоспоживання; у [7] запропоновано методику імітаційного моделювання систем керованого теплопостачання; у [9, 11] сформульовані й обґрунтовані основні принципи модернізації управління системою централізованого теплопостачання; у [10, 17, 21] запропоновано методику використання нейромережових моделей для прогнозування сумісного споживання енергоресурсів в побуті; у [18, 28] обґрунтовані нові критерії якості теплопостачання і їхнє застосування для регулювання відпуску тепла; у [26, 31] запропонована структура нейронної мережі для синтезу регуляторів із прогнозуючою моделлю; у [27] запропонований новий спосіб регулювання відпуску тепла, що враховує поведінкові реакції побутових споживачів; у [29] запропонований новий принцип перерозподілу добових лімітів палива між великими джерелами централізованого теплопостачання; у [32, 37] сформульовані задачі застосування нейромережових технологій для управління енергопостачанням; у [42] запропоновано методику аналізу і розрахунку параметрів автоколивальних процесів у замкнених системах управління відпуском тепла.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і одержані результати роботи доповідалися й обговорювалися на: 3, 4 і 9 Міжнародних конференціях по автоматичному управлінню “Автоматика” (м. Севастополь, 1996, м. Черкаси, 1997, м. Донецьк, 2002); Міжнародній конференції по еволюційним обчисленням і їхнім застосуванням (м. Москва, Росія, 1996); Науково-технічних конференціях “Проблеми автоматизованого електроприводу” (м. Алушта, 1996, 1997, 2000, 2001); Українській науково-технічній конференції “Пристрої перетворення інформації для контролю і управління в енергетиці” (м. Харків, 1996); Регіональному Європейському форумі Всесвітньої енергетичної ради “Ринкові перетворення в енергетиці. Перспективи на початок III тисячоліття” (м. Київ, 2000); 3 і 4 міжнародних конференціях “Енергоринок України і СНД” (м. Ялта, 2000, 2001); Науковому семінарі з міжнародною участю “Економічні проблеми забезпечення енергетичної безпеки” (м. Київ, жовтень 2001 р.); Міжнародній конференції MicroCAD-2002 (м. Харків, 2002); Міжнародному енергетичному форумі країн СНД “МЕФ-СНД”-2002.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відображено в 42 друкованих працях, з них 2 монографії [1,2], 24 статті у спеціальних наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України [3 - 26], 3 патенти [27 - 29], а також 13 робіт у працях і тезах доповідей конференцій [30 - 42].

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, висновків та додатку. Повний обсяг дисертації становить 323 сторінки основного тексту і містить 119 рисунків, 48 таблиць, список використаних джерел з 220 найменувань та додаток на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність дослідження, формулюється мета роботи і перелік розв'язуваних задач, приводиться короткий зміст роботи.

Перший розділ присвячений розробці й обґрунтуванню концептуальних і методологічних засад і нових принципів побудови автоматизованих систем керованого теплопостачання. Розглядаються економічні і соціальні передумови модернізації систем управління теплопостачанням. Дається опис великої теплофікаційної системи як об'єкта управління та огляд існуючих методів управління теплопостачанням.

Приведено аналіз традиційної технології управління теплопостачанням, що передбачає підтримку середньої температури всередині опалюваних приміщень, регламентованої санітарними нормами (18-20 градусів). Згідно з методом центрального якісного регулювання управління відпуском тепла здійснюється шляхом зміни температури прямої мережної води у функції від середньодобової температури зовнішнього повітря. Зазначена нормативна залежність зветься температурним опалювальним графіком (ТОГ). Відзначено, що в реальних умовах в зв'язку з дефіцитом палива відбувається повсюдне порушення нормативного графіка в бік зменшення відпуску тепла, що призводить до істотного погіршення мікроклімату в приміщеннях споживачів. При цьому колективною реакцією населення на відчуття температурного дискомфорту є побутовий дотоп жител для підтримки прийнятної температури з використанням підручних засобів - кухонних газових плит і електронагрівальних приладів. Це, у свою чергу, обертається перевитратою електроенергії і природного газу в житлово-комунальному секторі муніципального господарства в порівнянні з їхнім споживанням в умовах нормального теплопостачання.

У роботі обґрунтовується доцільність переходу до іншої цілі управління централізованим теплопостачанням, а саме - адекватному задоволенню поточного попиту населення на тепло. Запропонована концепція керованого відпуску тепла містить у собі комплекс організаційних заходів і інженерно-технічних рішень, спрямованих на зниження рівня побутового дотопу на основі принципу задоволення попиту, оцінюваного шляхом врахування фактичного рівня споживання в суміжних гілках енергопостачання. З позицій енергозбереження, вона дозволяє при формуванні стратегії теплопостачання перейти від традиційного критерію мінімізації питомої витрати палива до критерію задоволення фактичного попиту на тепло, що обіцяє істотний економічний і соціальний ефект за рахунок досягнення компромісу між економічністю і якістю теплопостачання.

Традиційна доктрина управління теплопостачанням регламентує виробництво теплової енергії на джерелах в таких обсягах, які були б здатні компенсувати очікувані розрахункові витрати тепла через зовнішні огороження будівель. З погляду теорії управління, традиційна технологія реалізує принцип управління по збуренню. Відсутність зворотного зв'язку, тобто контролю фактичного теплового стану опалюваних приміщень, призводить до значної перевитрати палива в період потепління й істотного зниження якості опалення в період похолодань. Організація поточного безпосереднього контролю фактичного теплового стану приміщень з метою побудови замкнених систем управління теплопостачанням зі зворотним

зв'язком наштовхується на істотні технічні труднощі, пов'язані з необхідністю виміру температури в надто великій кількості приміщень, і не може бути прийнята як основа для модернізації існуючих систем теплопостачання.

Основною ідеєю запропонованої концепції є використання інформації про надлишкове енергоспоживання, а саме, про наднормативний попит споживачів на електричну енергію і газ як кількісну міру колективного незадоволення населення роботою системи теплопостачання внаслідок недостатнього виробництва тепла на джерелах. Зазначена інформація може бути отримана шляхом оцінки перевищення поточним енергоспоживанням деякого еталонного рівня. При цьому поточна середня потужність дотопу є, фактично, сигналом зворотного зв'язку, що містить інформацію про відхилення температури всередині опалюваних приміщень від її “комфортного” рівня, обумовленого перевагами споживачів. Принциповим є той факт, що реалізація даної ідеї дозволяє реалізувати замкнену систему управління відпуском тепла у функції зазначеного відхилення без безпосереднього виміру внутрішньої температури, що уможливорює і робить реальним практичне втілення принципу управління за зворотним зв'язком у системах теплопостачання.

Запропоновану систему управління відрізняє наявність зворотних зв'язків, за допомогою яких інформація про інтенсивність споживання електроенергії різними сегментами теплового району джерела теплопостачання надходить на вхід регулятора виробітку тепла. Джерелами такої інформації виступають, зокрема, вузли укрупненого обліку споживання електричної енергії, що встановлені на фідерах електричних понижуючих підстанцій, через які здійснюється електропостачання житлових масивів.

На рис. 1 представлена укрупнена функціональна структурна схема запропонованої замкненої системи автоматизованого управління теплопостачанням. Об'єктом управління є сукупність теплового району (ТР), джерела теплопостачання з системою розподілення тепла (ТРС) і ансамблю побутових споживачів (АПС), що мешкають на його території. На вхід регулятора відпуску тепла (РВТ), що впливає на регулятор потужності (РП) теплофікаційного енергоблоку (ТЕБ), надходить інформація про надлишкове енергоспоживання, сформована вимірником надлишкового споживання (ВНС), а також інформація про зовнішню температуру.

Рис. 1. Функціональна структурна схема замкненої системи автоматизованого управління теплопостачанням

Таким чином, запропонована автоматизована система управління теплопостачанням реалізує комбінований принцип управління по стану і по збуренню, що є передумовою істотного підвищення якості управління.

Розділ завершується обґрунтуванням і формулюванням мети і задач дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений дослідженню та ідентифікації процесів сумісного споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) з метою виявлення і дослідження кількісних закономірностей впливу режимів відпуску тепла від системи централізованого теплопостачання (СЦТ) на обсяги споживання електричної енергії (ЕЕ) і природного газу (ПГ) в побуті. Методика формування первинної інфо-

рмації містила збір даних про добові обсяги відпуску тепла на опалення, даних про добове споживання комунально-побутовими споживачами електроенергії і природного газу, а також даних про фактичні метеорологічні умови. Розроблена методика була випробувана в масштабах окремих сегментів теплового району Харківської ТЕЦ-5. При цьому використовувалися можливості діючої в складі АК “Харківобленерго” автоматизованої системи контролю і управління енергоспоживанням (АСКУЕС), що забезпечує автоматичний збір даних про споживання ЕЕ житловими масивами міста Харкова. Первинна реєстрація обсягів споживання здійснюється в АСКУЕС вузлами обліку ЦТ5000, встановленими на понижуючих електричних підстанціях 110/10 кВ, що живлять електричною енергією промислові підприємства, житлові масиви, міський електротранспорт та ін.

Проведено аналіз впливу різних зовнішніх факторів, в тому числі обсягів відпуску теплової енергії, на характер споживання ЕЕ і ПГ в комунально-побутовому секторі. З метою аналізу реакції побутових споживачів на метеорологічні збурення отримані дані були представлені в просторі станів. На рис. 2 представлені траєкторії зміни електроспоживання для різних житлових масивів м. Харкова - Салтівського (а) та Олексіївського (б).

Рис. 2. Гістерезисний характер електроспоживання

Траєкторії мають гістерезисний характер, що може бути пояснено наявністю інтервалу індиферентності в сприйнятті людиною теплового дискомфорту, а також відсутністю стабільності в роботі СЦТ протягом розглянутого періоду часу.

Для оцінки теплового стану житлових масивів за рівнем споживання ними ЕЕ необхідно визначити еталони електроспоживання, тобто кількість ЕЕ, необхідної тому чи іншому житловому масиву для забезпечення нормальної життєдіяльності споживачів за умови якісного тепlopостачання. Тоді сигнал “надспоживання” ЕЕ формується як різниця між поточним рівнем електроспоживання і еталоном і використовується надалі як кількісна міра незадоволення населення тепловим станом жител.

У роботі запропонована методика синтезу еталонних добових профілів споживання ЕЕ на основі оцінки електроспоживання, що одержується на інтервалах квазістаціонарності метеорологічних умов і режимів роботи СЦТ. Розроблена модель еталонного споживання у числі інших факторів враховує і вплив довгого світлого часу дня на рівень споживання ЕЕ. Це дозволило при дослідженні характеру замісних зв'язків, що існують між попитом на ЕЕ і попитом на тепло, розмежувати вплив дефіциту тепла і вплив дефіциту сонячного світла в приміщеннях.

Типізовані профілі (еталони) нормального електричного навантаження для різних місяців року, одержані в результаті статистичної обробки даних споживання, наведені на рис. 3а. Як приклад використання одержаних еталонів споживання ЕЕ на рис. 3б показана динаміка зміни електричного навантаження на фідерах понижуючої підстанції “Олексіївська” з 22 по 25 грудня 1998 року. Тут також наведена верхня границя еталона електроспоживання, а також прецедент максимального споживання. Рівень наднормативного споживання ЕЕ відіграє роль критерію, за допомогою якого можна оцінювати та нормувати якість тепlopоста-

чання в теплофікаційних системах і здійснювати короткострокове оперативне планування режимів відпуску тепла від великих джерел.

Рис. 3. Еталони енергоспоживання та їх застосування.
а - згладжені типізовані профілі електричного навантаження;
б - динаміка зміни електричного навантаження

Розроблена модель еталонного споживання ЕЕ дає можливість виділяти з даних поточного споживання ЕЕ сигнал надлишкового енергоспоживання з метою аналізу, оцінки і нормування якості теплопостачання на основі критерію і запропонованої шкали оцінок якості теплопостачання. З використанням реальних даних одержані порівняльні оцінки якості теплопостачання сегментів теплового району Харківської ТЕЦ-5. На рис. 4 проілюстровано оцінювання якості теплопостачання на основі розробленої методики.

Рис. 4. Оцінка якості теплопостачання репрезентативного житлового масиву

Третій розділ присвячений теоретичному обґрунтуванню запропонованої концепції управління теплопостачанням на основі використання даних про надлишкове енергоспоживання (зокрема, про середню потужність електричного дотопу) як сигналу зворотного зв'язку. Повна ліквідація дотопу в результаті завищеного відпуску тепла призводить, фактично, до розмикання системи і втрати можливості контролю поточного стану об'єкту управління. Виявлене протиріччя, зв'язане з двоїтим характером дотопу, призводить до необхідності організації спеціальних режимів функціонування систем управління теплопостачанням, що забезпечують зниження рівня дотопу при збереженні його інформаційних функцій. Запропонована методика синтезу регулятора відпуску тепла базується на використанні автоколивальних режимів управління.

У складі структурної схеми, приведеної на рис. 1, виділяються два контури: внутрішній контур дотопу "ТР - АПС" і зовнішній контур управління відпуском тепла "ТЕБ - ТРС - ТР - РВТ", зв'язок між якими здійснюється через інформаційний канал "ВНС". Побутовий дотоп, зв'язаний з періодичним включенням додаткових джерел обігріву, приймає форму автоколивань у внутрішньому контурі "ТР - АПС". Можливість виникнення подібних несиметричних автоколивань обумовлена гістерезисним характером функції преференцій споживачів, наявністю запізнення в їхній реакції і інерційними властивостями опалюваних будівель. При цьому повільна складового процесу у внутрішньому контурі є функцією від відхилення внутрішньої температури від центра гістерезисної нелінійності, що відповідає комфортному значенню. В результаті, по повільній складовій зовнішній контур утворює замкнену систему, що забезпечує зменшення температурного дискомфорту в режимі дотопу. Зрив дотопу можливий шляхом збільшення відпуску тепла від ТЕБ, однак такий шлях недоцільний, оскільки втрата контролю над станом теплового району в більшості випадків призведе до перетопу і перевитрати енергоресурсів на теплозабезпечення житлових масивів.

Управління відпуском тепла здійснюється шляхом зміни уставки регулятора потужності ТЕБ відповідно до коригувального сигналу, формованому РВТ на основі сигналу усередненого надлишкового енергоспоживання АПС. Для досягнення компромісу в роботі запропоновано вибирати налагоджувальні параметри РВТ так, щоб у зовнішньому контурі регулювання відпуском тепла виникали повільні автоколивання по температурі теплоносія з досить малими частотами. Тоді дотоп буде періодично виникати лише при виникненні істотного теплового дискомфорту в опалюваних приміщеннях і парируватися збільшенням температури теплоносія, подальше повільне зниження якої буде перешкоджати перетопу.

У роботі запропоновано комплекс укрупнених макромоделей елементів керованої теплофікаційної системи щодо усереднених (агрегованих) змінних, що забезпечує можливість попереднього дослідження процесів у керованій системі теплопостачання. При побудові моделей врахована наявність транспортного запізнення у магістральному трубопроводі і ТРС, а також уповільнений характер реакції АПС на зміну температури в житлових приміщеннях. Модель керованої теплофікаційної системи містить у собі модель ТР, що описує динаміку зміни температури мережної води з урахуванням транспортного запізнення і теплових втрат; модель РВТ, виконаного за схемою ПІ-регулятора, що описує зміну коригувального керуючого впливу в залежності від рівня надлишкового енергоспоживання; модель АПС, що описує динаміку зміни середньої потужності дотопу в залежності від і преференцій споживачів з врахуванням нелінійного (гістерезисного) характеру і запізнення їхньої реакції на температурний дискомфорт; модель ВНС, що забезпечує формування сигналу поточного надлишкового енергоспоживання.

Структурна схема замкненої системи управління відпуском тепла приведена на рис. 5. Передавальні функції елементів структурної схеми обрані відповідно до розроблених моделей елементів системи керованого теплопостачання.

Рис. 5. Структурна схема замкненої системи управління відпуском тепла

Аналіз процесів у внутрішньому контурі дотопу здійснено на основі методу гармонічної лінеаризації. Для цього попередньо характеристика реакції споживача приведена до стандартного виду симетричної гістерезисної нелінійності з параметрами (θ, τ) , що характеризують максимальну потужність дотопу і діапазон індиферентності споживачів, шляхом введення зсуву вхідних і вихідних сигналів

(1)

Еквівалентна структурна схема внутрішнього контуру дотопу, на якій позначено, наведена на рис. 6.

Рис. 6. Еквівалентна структурна схема контуру дотопу

У замкненому контурі дотопу можуть мати місце несиметричні автоколивання, при цьому сигнал на вході нелінійності (відхилення фактичної температури від її комфортного значення) може бути представлений у вигляді, де - повільна складового відхилення, - швидка автоколивальна складова.

З використанням коефіцієнтів гармонічної лінеаризації гістерезисного елемента і апроксимації Паде ланки з чистим запізненням, що моделює затримку в реакції споживачів, у роботі одержана система рівнянь для визначення параметрів (амплітуди і частоти) симетричних автоколиваний у безрозмірній (критеріальній) формі:

(2)

де.

Рішення системи рівнянь (2) визначає параметри симетричної складової автоколиваний потужності дотопу

Умовою існування автоколиваний є нерівність, що встановлює можливість їхнього виникнення лише при досить великій максимальній потужності дотопу:

(3)

У роботі запропоновано диференціальне рівняння для повільної складової при автономному функціонуванні контуру дотопу, що виконує винятково енергетичну функцію (відключений РВТ) з використанням лінеаризації функції зсуву нелінійного елемента:

(4)

У цьому випадку відхилення сталого значення від комфортного значення визначається статизмом контуру дотопу.

На основі методу розподілу рухів показано, що еквівалентна модель зовнішнього контуру управління температурою теплоносія містить нелінійність типу насичення і лінійну частину з транспортним запізненням. З використанням функції зсуву гістерезисної нелінійності одержано вираз для нелінійної статичної характеристики ВНС

(5)

Функція перетворення ВНС по повільній складовій апроксимується нелінійною характеристикою з насиченням. Для спрощення аналізу прийнято, що, що дозволяє зневажити затримку в реакції споживача при аналізі динаміки. Також прийнято, що інерційність внутрішнього контуру регулювання ТЕБ з ПІ-регулятором потужності також значно менше, що дозволяє замінити зазначений контур статичною ланкою з коефіцієнтом підсилення.

Еквівалентна структурна схема контуру управління відпуском тепла по повільній складовій приведена на рис. 7. У контурі управління відпуском тепла мо-

жуть мати місце повільні автоколивання складової з частотою. При цьому де - повільні симетричні автоколивання, - інфранизькочастотна (квазістаціонарна) складова відхилення.

Рис. 7. Структурна схема контуру управління відпуском тепла

Параметри симетричних автоколивань повільної складової визначені на основі схеми повторної гармонічної лінеаризації. З урахуванням виразу для коефіцієнта гармонічної лінеаризації

$$, \quad (6)$$

де. Одержана система рівнянь для визначення частоти та амплітуди повільних симетричних автоколивань у безрозмірній формі при фіксованих значеннях налагоджувальних параметрів РВТ:

$$(7)$$

де. Шляхом лінеаризації функції зсуву для нелінійності одержано її еквівалентний коефіцієнт підсилення статичної характеристики ВНС по квазістаціонарній складовій:

$$. \quad (8)$$

Рівняння лінеаризованого зовнішнього контуру управління мають вигляд

$$,(9)$$

де - еквівалентне збурення.

Динамічні властивості замкненої системи управління відпуском тепла визначаються коренями характеристичного полінома, що залежать від максимальної потужності дотопу і коефіцієнта підсилення по квазістаціонарній складовій.

У роботі запропоновано й обґрунтовано методику вибору параметрів РВТ, що забезпечують стабілізацію на комфортному рівні в режимі повільних автоколивань температури теплоносія. При цьому періодично виникаючі швидкі автоколивання потужності дотопу виконують, в основному, інформаційну функцію, забезпечуючи одержання інформації щодо повільної складової відхилення від комфортного значення. Тоді вибір налагоджувальних параметрів РВТ визначається вимогами:

- існування швидких автоколивань потужності дотопу у внутрішньому контурі;
- існування повільних автоколивань температури теплоносія в зовнішньому контурі;

- стійкості зовнішнього замкненого контуру по квазістаціонарній складовій.

Приведені теоретичні положення підтверджуються результатами моделювання процесів у замкненій системі управління тепlopостачанням.

З метою компенсації транспортного запізнення в системах керованого тепlopостачання розроблено метод синтезу цифрових ПІ-регуляторів для об'єктів із запізненням по каналу управління. Запропоновано метод синтезу цифрового адаптивного регулятора для систем з невизначеним запізненням у каналі управління. Розроблені алгоритми адаптивного управління засновані на використанні налагоджувальних прогнозуючих моделей і рекурентного оцінювання часу чистого запізнення.

Запропоновано й обґрунтовано метод нечіткого адаптивного управління відпуском тепла з використанням лінгвістичного опису основних змінних. Розроблено схему фазіфікації вхідних і вихідних сигналів нечіткого регулятора. Запропоновано спосіб вибору функцій приналежності для нечіткого опису помилки регулювання, зовнішньої температури і вихідного сигналу регулятора відпуску тепла, подано їхній опис, і проаналізовано структуру. Сформовано структуру бази знань, комплекс нечітких правил і процедуру логічного виводу для формування сигналів управління. Запропоновано метод адаптації нечіткого регулятора, що реалізує безперервне корегування вихідних функцій приналежності. Розроблені і досліджені алгоритми функціонування нечіткого адаптивного РВТ, обґрунтований вибір його параметрів.

Четвертий розділ присвячений розробці прогнозуючих моделей сумісного енергоспоживання на основі нейромережових інформаційних технологій. Реалізація запропонованої концепції керованого тепlopостачання з застосуванням контролю і прогнозування енергоспоживання припускає використання різноманітних прогнозних показників, таких як сумісне добове споживання теплової та електричної енергії, метеорологічних умов, ціни на енергоносії і т.п. Високий рівень невизначеності, неповнота поточної та апіорної інформації обумовлюють доцільність використання сучасних методів прогнозування на основі штучних нейронних мереж (ШНМ). Для прогнозування використовувався предиктор на базі прямоспрямованої тришарової нейронної мережі з радіально-базисними активаційними функціями нейронів прихованого шару (РБФ-мережі).

(10)

де - вектор вхідних сигналів мережі; - вектор координат центра активаційної функції - того нейрона прихованого шару; - ширина вікна активаційної функції, - кількість нейронів у вхідному шарі мережі, - кількість нейронів у прихованому шарі. Лінійні нейрони вхідного шару служать для прийому і ретрансляції вхідних сигналів на нейрони прихованого шару, де здійснюється нелінійне перетворення інформації. Вихідний нейрон формує зважену суму вихідних сигналів нейронів прихованого шару з вагами зв'язку з i - тим нейроном прихованого шару. Налагоджувальними параметрами мережі є параметри активаційних функцій нейронів прихованого шару, а також ваги синаптичних зв'язків між нейронами прихованого

шару і вихідним нейроном. Для налагоджування нейромережевого предиктора були використані генетичні алгоритми.

На основі кореляційного аналізу даних про відпуск тепла, енергоспоживання і зовнішню температуру обґрунтований вибір вхідних змінних прогнозуючої моделі. Для аналізу впливу метеорологічних умов був проведений розрахунок кореляційних зв'язків між показниками добової температури і добовим споживанням електроенергії з урахуванням сезонних особливостей споживання. Здобуті залежності обґрунтовують необхідність врахування передісторії метеорологічних умов глибиною в 3 - 4 доби.

Структура адаптивної прогнозуючої моделі включає нейромережеві предиктори теплового стану, електричного навантаження, а також споживання теплової та електричної енергії.

На основі запропонованої методики був виконаний синтез адаптивної прогнозуючої моделі сумісного енергоспоживання для Олексіївського сектора теплового району Харківської ТЕЦ-5. Перелік даних для синтезу прогнозуючої моделі містив добові обсяги відпуску тепла від джерела теплопостачання, добове споживання ЕЕ, екстремальні і середньодобові значення зовнішньої температури.

Проведено цикл обчислювальних експериментів по дослідженню і тестуванню прогнозуючої моделі споживання на реальних даних. На рис. 8 представлені результати тестування моделі та порівняння результатів прогнозування з фактичними даними. На рис. 9 приведені гістограми похибок прогнозування. Результати тестування показали досягнення задовільної точності прогнозу, достатньої для застосування синтезованої моделі в системах підтримки прийняття рішень по відпуску тепла.

Рис. 8. Результати тестування моделі сумісного енергоспоживання (а) і порівняння результатів прогнозування з фактичними даними (б)

Рис. 9. Гістограми відносної похибки прогнозування електроспоживання а) однокроковий прогноз, б) багатокроковий прогноз

У **п'ятому розділі** вирішуються проблеми побудови інтелектуальних систем управління відпуском тепла на основі нейромережевих прогнозуючих моделей. Сформульовано постановку задачі синтезу системи управління якістю теплопостачання, що інтерпретує якість теплопостачання як умову приналежності добового електроспоживання житловими масивами до фіксованого діапазону.

Алгоритм управління відпуском тепла забезпечує виконання умови приналежності добового електроспоживання житловими масивами до будь-якого діапазону з ряду асоційованому з певними градаціями якості теплопостачання, у всьому інтервалі змінювання зовнішньої температури з урахуванням обмеження на швидкість зміни добових обсягів відпуску тепла від джерела теплопостачання. На вхід регулятора подається уставка по величині нормованого “надспоживання”, де - бажаний рівень електроспоживання.

Розроблено методику та алгоритми синтезу нового класу нейромережевих регуляторів відпуску тепла з прогнозуючими адаптивними моделями. Передбачалося, що об'єкт управління (ОУ) описується нелінійним різницеvim рівнянням виду, де u - вихідний сигнал ОУ (рівень енергоспоживання житловими масивами), u_{ref} - керуючий вплив (обсяг відпуску тепла від джерела теплопостачання), f - нелінійна функція моделі ОУ, що апіорі невідома і підлягає відновленню за допомогою нейронної мережі, i - порядки різницевого рівняння. Метою синтезу алгоритму управління є формування сигналу управління, що забезпечує максимальну ступінь близькості вихідного сигналу до заданої уставки. Для синтезу управління використовується динамічна нейромережева модель у вигляді, де u - вихідний сигнал нейромережі, a - оцінка невідомої функції. Нейронна мережа має тришарову архітектуру. Як активаційні функції використані функція гіперболічного тангенса в прихованому шарі і лінійна функція у вихідному. Для настроювання параметрів моделі застосовано алгоритм зворотного поширення помилки. Процес навчання моделі забезпечує мінімізацію середньоквадратичного відхилення виходів моделі та об'єкта. З використанням принципу стохастичної еквівалентності сигнал управління знаходиться з умови близькості сигналу до заданої уставки.

Для синтезу сигналу управління використовується рівняння моделі, що налагоджується, у виді

(11)

де W - матриці синаптичних ваг і зсувів. Процедура обчислення управління на основі рекурентної градієнтної процедури з використанням функцій чутливості та помилки регулювання має вигляд

(12)

де функція чутливості обчислюється відповідно до рекурентного алгоритму

(13)

Для настроювання синаптичних ваг застосовується процедура зворотного поширення помилки. Алгоритм настроювання синаптичних ваг має вигляд:

(14)

Запропоновано також удосконалений алгоритм управління, що використовує нейромережевий предиктор у контурі управління. Структура синтезованої нейронної мережі для управління відпуском тепла представлена на рис. 10.

Рис. 10. Архітектура ШНМ для системи управління відпуском тепла

З використанням розроблених нейромережових технологій управління синтезовано ряд інтелектуальних алгоритмів комбінованого управління відпуском тепла і якістю теплопостачання, а саме:

- алгоритми управління по збуренню зовнішньою температурою з лінійним і нелінійним ТОГ;
- алгоритм нейромережового управління по збуренню з прогнозом зовнішньої температури на основі реалізації однокрокового і багатокрокового управління;
- алгоритм управління з використанням нейромережового ПД-регулятора де - відхилення енергоспоживання від еталонного рівня;
- алгоритм нейромережового комбінованого управління по відхиленню і прогнозованому збуренню:

Для дослідження і порівняльної оцінки ефективності запропонованих алгоритмів управління відпуском тепла розроблено програмний комплекс імітаційного моделювання, що забезпечує можливість їхнього тестування з врахуванням нестационарності метеорологічних умов і реальних обмежень на маневрування тепловим навантаженням джерела СЦТ. Структура імітаційної моделі представлена на рис. 11.

Рис. 11. Структура імітаційної моделі для дослідження алгоритмів управління відпуском тепла

Проведено ряд обчислювальних експериментів з запропонованими типами регуляторів відпуску тепла, під час яких використовувалися реальні місячні профілі зовнішньої температури. На рис. 12 та 13 приведені фрагменти одержаних результатів моделювання при різних початкових умовах та при змінних метеорологічних умовах.

Рис. 12. Результати моделювання управління з використанням нейромережового ПД-регулятора

Рис. 13. Результати моделювання нейромережового комбінованого управління по відхиленню і прогнозованому збуренню

Результати моделювання свідчать про переваги запропонованого нейромережового управління (криві з маркерами) в порівнянні з традиційною практикою (пунктирна крива). Алгоритм адаптивного ПД-регулювання забезпечує стабільність якості теплопостачання в стаціонарних умовах, але призводить до перетопів при різких потепліннях (рис.12). Алгоритм нейромережового комбінованого управління з використанням прогнозу зовнішньої температури забезпечує задовільне демпфірування впливу збурення навіть при наявності обмежень на маневрування тепловим навантаженням джерела СЦТ (рис.13).

Шостий розділ присвячений розгляду і вирішенню найбільш істотних системотехнічних проблем, пов'язаних з побудовою перспективних автоматизованих інформаційно-керуючих систем управління теплопостачанням. Приведено опис структури та алгоритмів функціонування розробленої на основі запропонованої

концепції АСУ ТП теплопостачання та автоматизованої інформаційної системи моніторингу якості теплопостачання житлових масивів міста. Система моніторингу забезпечує оперативний збір, аналіз і відображення інформації про еталонний і фактичний рівень електроспоживання і відпуск тепла від Харківської ТЕЦ-5, поточну якість теплопостачання за рівнем енергоспоживання, а також оцінку і прогнозування попиту на тепло і надлишкове енергоспоживання в сполученні з прогнозом температури повітря. З застосуванням запропонованих інтелектуальних методів і алгоритмів управління розроблена підсистема управління якістю теплопостачання та інтелектуальної підтримки прийняття рішень по відпуску тепла, що забезпечує короткострокове планування добових обсягів виробництва електричної та теплової енергії на ТЕЦ і оптимізацію завантаження енергетичного устаткування. Створено і введено в дослідну експлуатацію програмне забезпечення автоматизованої системи моніторингу якості теплопостачання житлових масивів.

Система моніторингу створена на базі розподіленої комп'ютеризованої системи обліку споживання електроенергії підстанціями міського підприємства електричних мереж із застосуванням інформаційних Інтернет-технологій. Вона містить вузли обліку споживання електричної енергії, комунікаційні та інформаційні сервери і канали зв'язку. Інформаційна структура розробленої автоматизованої системи моніторингу і приклад її відеокадру представлені на рис. 14.

Рис. 14. Інформаційна структура автоматизованої системи моніторингу якості теплопостачання (а) та вид її інтерфейсу користувача (б)

Розроблені автоматизовані інформаційно-керуючі системи моніторингу якості теплопостачання і управління якістю теплопостачання впроваджені на ДП “Харківська ТЕЦ-5”, АК “Харківобленерго” та КП “Харківські теплові мережі”. Приводиться оцінка експериментальних результатів спостережень реакції населення на режими відпуску тепла та апробації запропонованої системи автоматизованого управління теплопостачанням. Результати впровадження і дослідної експлуатації свідчать про працездатність і ефективність створених автоматизованих систем.

Розглянуто питання вибору інформаційної і технічної структури перспективної інформаційно-керуючої системи теплофікаційного енергоблоку, що забезпечує підвищення ефективності його функціонування в режимі керованого відпуску тепла, а також особливості її програмного забезпечення.

Виконано аналіз екологічних аспектів модернізації систем управління теплофікаційними енергоблоками. На основі комплексного аналізу впливу ТЕЦ на навколишнє середовище виділені основні задачі, що мають місце в знов створюваних системах екологічного моніторингу, і розглянуті підходи до їхнього розв'язання. Розроблені і практично реалізовані принципи побудови інформаційних систем екологічного моніторингу теплофікаційних енергоблоків.

У додатку приводяться матеріали, що підтверджують практичне використання і впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі дано рішення важливої науково-технічної проблеми розробки автоматизованих систем управління технологічними процесами централізованого теплопостачання житлових масивів на основі нової концепції замкненого управління відпуском тепла за інформацією про надлишкове енергоспоживання з метою підвищення повноти задоволення економічно обґрунтованого попиту на тепло, досягнення високих показників ефективності процесів теплопостачання та економії паливно-енергетичних ресурсів.

Основні результати і висновки дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Доведено, що головним недоліком існуючих систем управління теплопостачанням, що реалізують принцип центрального якісного регулювання по нормативному температурному опалювальному графіку, є відсутність зворотного зв'язку по фактичному стану опалюваних приміщень. Наслідком цього є неповне задоволення попиту на тепло, що відбивається у колективній реакції споживачів у формі побутового дотопу і призводить до істотної перевитрати паливно-енергетичних ресурсів. Обґрунтовано необхідність реорганізації і модернізації існуючих систем автоматизації управління теплопостачанням міст від великих централізованих джерел на основі переходу від принципу розімкненого управління по зовнішній температурі до принципу замкненого управління, що забезпечує задоволення попиту на тепло.

2. Обґрунтована можливість використання інформації про рівень надлишкового енергоспоживання в побуті (зокрема, середньої потужності електродотопу) як сигналу зворотного зв'язку, що містить інформацію про відхилення середніх температур в опалюваних приміщеннях від комфортного рівня і, отже, про рівень незадоволеності населення якістю теплопостачання. Показано, що використання зазначеної інформації забезпечує можливість створення замкнених систем управління відпуском тепла, що не потребують безпосереднього виміру температурного стану опалюваних приміщень. Запропонована і науково обґрунтована нова концепція оперативного управління технологічним процесом теплопостачання, що поєднує управління по збуренню зовнішньою температурою і управління на основі контролю надлишкового енергоспоживання в побуті.

3. На основі аналізу емпіричних даних про відпуск тепла і споживання енергоресурсів виявлено гістерезисний характер енергоспоживання ансамблем побутових споживачів, виділені типізовані добові профілі енергоспоживання, синтезовані еталони енергоспоживання і розроблена нова система критеріїв для оцінки якості теплопостачання. Розроблено методику та інформаційні технології для виділення сигналу надлишкового енергоспоживання, оперативного контролю рівня побутового дотопу і моніторингу якості теплопостачання.

4. Запропоновано структуру і встановлені необхідні режими функціонування замкненої системи управління відпуском тепла, що забезпечують нормалізацію мікрокліматичних умов і істотне зниження надлишкового енергоспоживання в побуті. На основі поєднання методів гармонічного балансу та імітаційного моделювання доведено, що гістерезисний характер реакції ансамблю побутових споживачів призводить до виникнення багаточастотних автоколивань у замкнених

багатоконтурних системах керованого теплопостачання. Встановлена можливість стабілізації середньої внутрішньої температури на комфортному рівні в режимі повільних автоколиваний температури мережної води.

5. Обґрунтовано необхідність удосконалення алгоритмів цифрового управління теплофікаційними енергоблоками в режимах керованого теплопостачання з урахуванням транспортного запізнення теплоносія в теплорозподільних мережах. З застосуванням методів цифрового адаптивного управління з налагоджувальною моделлю розроблена нова методика компенсації запізнення в умовах неповної інформації і синтезовані цифрові регулятори з адаптивними компенсаторами запізнення.

6. Обґрунтовано доцільність і ефективність застосування методів нечіткого управління для розробки механізмів прийняття рішень і синтезу регуляторів відпуску тепла в умовах високого ступеня невизначеності щодо контрольованого рівня надлишкового енергоспоживання і моделі теплового району. На основі розробленої методики лінгвістичного опису вимірюваних і регульованих змінних і запропонованого набору нечітких правил логічного виводу для формування керуючих впливів синтезовано нечіткий регулятор відпуску тепла з адаптивним корегуванням функцій приналежності та обґрунтовано вибір його параметрів.

7. Виявлено особливості задач прогнозування сумісного споживання енергоресурсів, обґрунтовано застосування нейромережових інформаційних технологій для синтезу прогнозуючих моделей. Синтезовано адаптивну прогнозуючу модель сумісного споживання електроенергії і тепла в побутовому секторі. На основі кореляційного аналізу даних про відпуск тепла, енергоспоживання і зовнішню температуру обґрунтовано вибір набору входних змінних прогнозуючої моделі, розроблено архітектуру нейронної мережі для її реалізації, алгоритми й обчислювальні процедури параметричної адаптації моделі на основі генетичних алгоритмів. Розроблено методику структурного спектрального аналізу і прогнозування нестационарних часових рядів енергоспоживання на основі адаптивних нейромережових фільтрів. Результати тестування прогнозуючої моделі сумісного енергоспоживання методами імітаційного моделювання і на реальних даних із застосуванням розробленого програмного комплексу для синтезу і дослідження алгоритмів показали досягнення задовільної точності прогнозу, достатньої для застосування синтезованої моделі в системах підтримки прийняття рішень по відпуску тепла.

8. Розроблено принципи побудови інтелектуальної автоматизованої системи підтримки прийняття рішень по відпуску тепла на основі короткострокового прогнозування енергоспоживання житловими масивами. Синтезовано новий клас інтелектуальних нейромережових алгоритмів комбінованого управління якістю теплопостачання по збуренню зовнішньою температурою і побічно оцінюваному за рівнем електроспоживання відхиленню внутрішньої температури від комфортної. З використанням імітаційної моделі виконано тестування розроблених інтелектуальних алгоритмів управління відпуском тепла з урахуванням реальних обмежень на маневрування тепловим навантаженням джерела централізованого теплопостачання, і встановлено їхню ефективність у порівнянні з існуючими схемами управління в нестационарних метеорологічних умовах.

9. На основі одержаних результатів розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення автоматизованої системи моніторингу якості тепlopостачання житлових масивів, що забезпечує поточний контроль і прогнозування надлишкового енергоспоживання, і автоматизованої системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо відпуску тепла, що забезпечує короткострокове планування добових обсягів виробництва електричної і теплової енергії на ТЕЦ і оптимізацію завантаження енергетичного устаткування.

10. Розроблені автоматизовані інформаційні системи моніторингу якості тепlopостачання і управління якістю тепlopостачання впроваджені на ДП “Харківська ТЕЦ-5”, АК “Харківобленерго” та КП “Харківські теплові мережі”. Результати впровадження і дослідної експлуатації свідчать про працездатність і ефективність створених автоматизованих систем і дозволяють рекомендувати розроблені концепції, методики і системи для використання при удосконаленні і модернізації великих систем централізованого тепlopостачання міст.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев // Харьков: Основа. - 1997. - 112 с.

2. Вороновский Г.К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях. Харьков: Изд-во “Харьков”. - 2002. - 240 с.

3. Вороновский Г.К., Петрашев С.Н. Синтез нейросетевой динамической модели теплового состояния отапливаемого помещения // Вестник ХГПУ. - Харьков, 1997. - Вып.7. - Ч.2. - С.38-45.

4. Вороновський Г.К., Петрашев С.М. Аналіз параметричної чутливості нейросіткових моделей динамічних об'єктів // Автоматизація виробничих процесів. - К., 1997. - № 2 (5). - С. 11-14.

5. Вороновский Г.К. Алгоритм цифрового ПИД - регулирования для объектов с чистым запаздыванием // Системный анализ, управление та інформаційні технології: Вісник ХДПУ. - Харків: ХДПУ. - 1999. - Вип. 73. - С. 179-182.

6. Выявление гармонических компонент временных рядов с помощью нейросетевых адаптивных цифровых фильтров / Бодянский Е.В., Вороновский Г.К., Котляревский С.В., Плисс И.П. // Системный анализ, управление та інформаційні технології: Вісник ХДПУ. - Харків: ХДПУ. - 2000. - Вип. 97. - С.193-198.

7. Вороновский Г.К., Сергеев С.А. Сценарная модель для отладки алгоритма отпуска тепла от ТЭЦ в рыночных условиях // Новини енергетики. - К., 2000. - № 4. - С.33 -38.

8. Вороновский Г.К. Системный подход к оценке качества теплоснабжения жилых массивов // Энергетика и электрификация. - К., 2000. - № 6. - С. 37-40.

9. Вороновский Г.К., Позигун М.П., Сергеев С.А. Анализ зарубежного опыта организации управления теплоснабжением городов и перспективы его применения на Украине // Энергетика и электрификация. - К., 2000. - № 7. - С. 3-8.

10. Нейросетевая модель связанного потребления тепловой и электрической энергии крупным жилым массивом города / Г.К. Вороновский, В.Б. Клепиков, М.В. Коваленко, К.В. Махотило // Электротехника, электроника и электропривод. “Проблемы автоматизированного электропривода”: Вестник ХГПУ. - 2000. - Вып. 113.- С. 363-366.
11. Вороновський Г.К., Ольшевський О.М., Сергєєв С.О. Про оптимальний ступінь деталізації обліку споживання паливно-енергетичних ресурсів в комунально-побутовому секторі // Енергетика и электрификация. - К., 2000. -№ 8. -С. 4-8.
12. Вороновский Г.К. Эмпирическое исследование гистерезисных процессов в работе муниципальных энергообеспечивающих комплексов // Новини енергетики. - К., 2000. - № 10. - С.18-27.
13. Вороновский Г.К. Об одном адаптивном алгоритме управления объектами с чистым запаздыванием // Системный анализ, управление и информационные технологии: Вестник ХГПУ. - Харьков: ХГПУ. - 2000. - Вып.121. - С. 114-117.
14. Вороновський Г.К. Прогностична модель попиту на електрику та тепло, що споживаються міським населенням // Автоматизація виробничих процесів. - К., 2001. - № 2 (13). - С.25-31.
15. Вороновский Г.К. Эволюционный синтез полиномиального алгоритма программного управления отпуском тепла от ТЭЦ бытовым потребителям // Енергетика: економіка, технології, екологія. - К., 2001. - № 2. - С.34-38.
16. Вороновский Г.К. Тестирование способности алгоритмов центрального регулирования отпуска тепла управлять качеством теплоснабжения в крупных теплофикационных системах // Енергетика: економіка, технології, екологія. - К., 2001. - №3. - С.40-44.
17. Вороновский Г.К., Махотило К.В. Совершенствование алгоритмической базы эволюционного синтеза нейросетевых моделей потребления электрической энергии в коммунально-бытовом секторе // Вестник НТУ “ХПИ”. Темат. выпуск “Электротехника, электроника и электропривод”. Проблемы автоматизированного электропривода. - 2001. - Вып.10. - С. 427-431.
18. Вороновский Г.К., Ольшевский А.М., Сергєєв С.А. Активное управление спросом и потреблением ТЭР в коммунально-бытовом секторе как средство раскрытия стабилизационного потенциала муниципальных энергокомплексов // Енергетика: економіка, технології, екологія. - К., 2001. - № 4. - С. 40-44.
19. Вороновский Г.К. Теоретические аспекты решения актуальных проблем загрязнения атмосферного воздуха в энергетическом секторе // Інтегровані технології та енергозбереження. - Харків, 2001. - № 4. - С.3-10.
20. Вороновский Г.К. Новая технология управления централизованным теплоснабжением жилых массивов и вопросы ее практической реализации // Вісник Національного технічного університету “ХПИ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: “Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів”. - № 17. - 2001. - С. 30 - 33.
21. Вороновский Г.К., Ольшевский А.М., Махотило К.В. Прогнозирование суточного профиля электрической нагрузки крупного жилого массива // Вестник НТУ “ХПИ”. Сб. научных трудов. Темат. выпуск: “Электроэнергетика и преобразовательная техника”.-2002.- № 9- Т.4.- С. 27-31.

22. Вороновский Г.К. Синтез нейрорегуляторов для управления качеством теплоснабжения в крупных теплофикационных системах // Промышленная теплотехника. - К., 2002. - Т.24. - № 6.- С.77-83.

23. Вороновский Г.К. Механизм принятия решений в системах управления централизованным теплоснабжением // Электротехника і електромеханіка. - Харків, 2002.- № 2. - С. 33 -37.

24. Вороновский Г.К. Интерактивный температурный мониторинг и его применение в системах управления теплоснабжением // Электротехника і електромеханіка. - Харків, 2002.-№ 3.- С. 21-27.

25. Вороновский Г.К. Нечеткое адаптивное управление отпуском тепла в системах управляемого теплоснабжения // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: "Системний аналіз, управління та інформаційні технології". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2002. - № 9.- Т.6. - С.159-167.

26. Бодянский Е.В., Вороновский Г.К., Любчик Л.М. Синтез нейросетевых регуляторов с адаптивной прогнозирующей моделью для систем управляемого теплоснабжения // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. тематичний випуск: "Системний аналіз, управління та інформаційні технології". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2002. - № 13. - С. 9-15.

27. Патент Украины на изобретение UA 25665 С2, МКИ⁷ F24D 3/00 от 16.04.1997. Способ центрального регулирования отпуска тепла от ТЭЦ жилым массивам / Г.К. Вороновский, С.А. Сергеев, Г.Г. Сергеенкова // Промислова власність. - 2001. - № 8. (опубліковано 17.09. 2001).

28. Патент України на винахід UA 32211, МПК⁷ F24D 3/00 від 14.01.99. Спосіб регулювання відпуску теплової енергії на опалення житлового масиву від джерела централізованого теплопостачання / Г.К.Вороновський та ін. // Промислова власність. - № 7-II (опубліковано 15.12.2000 р.).

29. Патент України на винахід UA № 40477А, МПК⁷ F24D 19/10 від 16.06.2001 р. Автоматизована система контролю та управління споживанням тепла житловими масивами мегаполісу / Г.К.Вороновський та ін. // Промислова власність. - № 6 (опубліковано 16.07.2001 р.).

30. Mahotilo K.V., Sergeev S.A., Voronovsky G.K. ANN+GA-based Intelligent control system // Proc. of the 4-th Int. Workshop on Inverse Problems in Electromagnetics. Brno, Czech Republic, 1996. - P.51.

31. ANN-based intelligent system for process control / K.V. Mahotilo, S.N. Petrashev, S.A. Sergeev, G.K. Voronovsky // Proc. of the 1-st Int. Conf. on Evolutionary Computation and Its Applications EvCA'96, Moscow, Russia, 1996. - P.330-334.

32. Вороновский Г.К., Петрашев С.Н. Нейросетевые технологии в управлении объектами энергетики // Праці 3-ї Української конференції з автоматичного управління "Автоматика-96", Севастополь, 9-15 вересня 1996. - Том I. - С.46.

33. Вороновский Г.К. Применение искусственных нейронных сетей для решения задач математического моделирования в энергетике // 5-я Украинская научн.-техн. конф. "Устройства преобразования информации для контроля и управления в энергетике". Харьков, октябрь 1996, - С.79-81.

34. Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н. Эволюционный синтез предиктора динамического объекта управления на базе RBF-нейронных сетей // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Труды конф. - Харьков: Основа, 1996. - С. 287-290.

35. Вороновский Г.К., Петрашев С.Н. Параметрическая чувствительность нейросетевого эмулятора динамического объекта, синтезированного на базе радиально-симметричных активационных функций // Праці 4-ї Української конференції з автоматичного управління "Автоматика-97", Черкаси, 23-28 червня 1997. - Том 3. - С. 16.

36. Вороновский Г.К., Петрашев С.Н. Проблемы и перспективы использования нейросетевых технологий моделирования в теплоснабжении // В кн.: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика (Труды конф.). - Харьков: Основа, 1997.- С. 380-382.

37. Краткосрочное предсказание электропотребления для крупного жилого массива города / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.А. Сергеев, Г.Г. Сергеевкова // Proc. of the 3-rd Int. Science and Technology Conference UEES'97, Szczecin, (Poland), 1997. - Vol.3. - P.1073-1078.

38. Вороновський Г.К. Нові інформаційні технології управління енергетикою // Регіональний Європейський форум ВЕР "Київ-2000". Ринкові перетворення в енергетиці. Перспективи на початок III тисячоліття. Україна, Київ, 16-19 травня 2000 р. Доповіді. - К.: Всеукр. Енерг. Комітет, 2000.- ч.1.- С.105-110.

39. Вороновский Г.К. Рыночные критерии оценки эффективности теплоснабжения жилых массивов и регулирования режимов отпуска тепла от ТЭЦ // Регіональний Європейський форум ВЕР "Київ-2000". Ринкові перетворення в енергетиці. Перспективи на початок III тисячоліття. Україна, Київ, 16-19 травня 2000 р. Доповіді. - К.: Всеукр. Енерг. Комітет, 2000.- ч.2. - С.64-68.

40. Вороновский Г.К. Рыночное реформирование энергосектора: новые подходы к управлению спросом и предложением на региональных рынках электричества и тепла // В кн.: Международный Энергетический Форум МЭФ СНГ-2001: Крым, 23-30 сентября 2001 / Под ред. Г.Л. Романова. - Х.: Энергоклуб Украины, 2002. - С. 236-238.

41. Вороновский Г.К. Еще раз о влиянии режимов работы централизованного теплоснабжения на технологическую и финансовую стабильность энергосектора // Международный энергетический форум СНГ-2002 (Материалы конференции). 16-21 сентября 2002 г. - Украина, Ялта. - С.34-35.

42. Вороновский Г.К., Куценко А.С., Сергеев С.А. Управление системами централизованного теплоснабжения на основе контроля избыточного энергопотребления // Матеріали міжнародної конференції з управління "Автоматика - 2002", 16-20 вересня 2002 р., м. Донецьк, Україна: Донецьк, 2002.- Т.1.- С.188 - 190.

АНОТАЦІЯ

Вороновський Г.К. Автоматизоване оперативне управління централізованим теплопостачанням в умовах неповної інформації. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за фахом 05.13.07 - Автоматизація технологічних процесів. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2003.

Дисертація присвячена розробці й обґрунтуванню нових методів управління відпуском тепла від великих джерел централізованого теплопостачання на основі інформації про надлишкове енергоспоживання в побуті.

Запропоновано структуру і режими функціонування замкненої системи управління відпуском тепла, що забезпечує одержання інформації про відхилення середніх внутрішніх температур в житлах від комфортного рівня і зниження надлишкового енергоспоживання. Синтезовані цифрові регулятори з адаптивними компенсаторами запізнення у системах теплопостачання та нечіткий регулятор відпуску тепла з адаптивним корегуванням функцій приналежності.

Розроблено методи прогнозування сумісного споживання енергоресурсів житловими масивами на основі нейромережевих інформаційних технологій і синтезована адаптивна прогноуюча модель споживання електроенергії і тепла. Розроблено методику й алгоритми синтезу нового класу нейромережевих регуляторів із прогноуючими адаптивними моделями для управління відпуском тепла по контрольованому рівню побутового електроспоживання в умовах невизначеності.

Розроблено і практично реалізована автоматизована система моніторингу якості теплопостачання житлових масивів, що забезпечує поточний контроль і прогнозування надлишкового енергоспоживання, а також інтелектуальну підтримку прийняття рішень по відпуску тепла.

Ключові слова: адаптивні прогноуючі моделі, штучні нейронні мережі, інтелектуальні системи, багаточастотні автоколивання, нечіткі системи управління, системи централізованого теплопостачання.

АННОТАЦИЯ

Вороновский Г.К. Автоматизированное оперативное управление централизованным теплоснабжением в условиях неполной информации. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.07 - Автоматизация технологических процессов. Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", Харьков, 2003.

Диссертация посвящена разработке и обоснованию новых методов управления отпуском тепла от крупных источников централизованного теплоснабжения на основе информации об избыточном энергопотреблении в быту с целью повышения степени удовлетворения фактического спроса на тепло, достижения высоких показателей эффективности процессов теплоснабжения и экономии топливно-энергетических ресурсов.

Обоснована необходимость перехода при управлении отпуском тепла от принципа разомкнутого управления по наружной температуре к принципу замкнутого управления, обеспечивающего удовлетворение фактического спроса на тепло. Предложено использование информации об уровне избыточного потребления электричества и природного газа в быту в качестве сигнала обратной связи, несущем информацию об отклонении средних температур в отапливаемых помещениях от комфортного уровня и о степени неудовлетворенности потребителей режимами отпуска тепла.

На основе анализа эмпирических данных по отпуску тепла и потреблению энергоресурсов выявлен гистерезисный характер энергопотребления ансамблем бытовых потребителей, выделены типизированные суточные профили энергопотребления, синтезированы эталоны энергопотребления и разработана новая система критериев оценки качества теплоснабжения.

Предложена структура и режимы функционирования замкнутой системы управления отпуском тепла, обеспечивающей получение информации об отклонении средних внутренних температур в жилищах от комфортного уровня и снижение избыточного энергопотребления. Получены условия существования и найдены параметры автоколебаний в замкнутых многоконтурных системах управления теплоснабжением, предложена методика синтеза регуляторов отпуска тепла.

С применением методов цифрового адаптивного управления с настраиваемой моделью разработана методика компенсации запаздывания в системах отпуска тепла и синтезированы цифровые регуляторы с адаптивными компенсаторами запаздывания.

На основе разработанной методики лингвистического описания измеряемых и регулируемых переменных и предложенного набора нечетких правил логического вывода для формирования управляющих воздействий синтезирован нечеткий регулятор отпуска тепла с адаптивной корректировкой функций принадлежности и обоснован выбор его параметров.

Разработаны методы прогнозирования потребления энергоресурсов на основе нейросетевых информационных технологий и синтезирована адаптивная прогностическая модель связного потребления электроэнергии и тепла. Разработана архитектура нейронной сети для ее реализации, алгоритмы и вычислительные процедуры параметрической адаптации модели на основе генетических алгоритмов.

Разработаны принципы построения интеллектуальной автоматизированной системы поддержки принятия решений по отпуску тепла на основе краткосрочного прогнозирования энергопотребления жилыми массивами, методика и алгоритмы синтеза нового класса нейросетевых регуляторов с прогнозирующими адаптивными моделями для управления отпуском тепла по контролируемому уровню электропотребления в условиях неопределенности.

Разработана и практически реализована автоматизированная система мониторинга качества теплоснабжения жилых массивов, обеспечивающая текущий контроль и прогнозирование избыточного энергопотребления, а также интеллектуальную поддержку принятия решений по отпуску тепла, обеспечивающую краткосрочное планирование суточных объемов производства электрической и

тепловой энергии на ТЭЦ и оптимизацию загрузки энергетического оборудования. Результаты внедрения и опытной эксплуатации свидетельствуют о работоспособности и эффективности созданных автоматизированных систем.

Ключевые слова: адаптивные прогнозирующие модели, искусственные нейронные сети, интеллектуальные системы, многочастотные автоколебания, нечеткие системы управления, системы централизованного теплоснабжения.

ABSTRACT

Voronovsky G.K. Automated operating control of central heat supply under incomplete information. - Manuscript.

Dissertation submitted for a Doctor of Science degree in technical sciences on speciality – Technological processes automation. National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2003.

Dissertation is devoted to the development and implementation of new methods of heat production control in automated heat supply systems that use data of redundant power consumed in domestic sector. A possibility of closed-loop control in heat supply system by means of indirect estimation of heat demand level is proved, and the method of heat output controller synthesis is proposed. Digital controllers with delay compensators for heat supply systems are also designed as well as fuzzy heat production controllers under uncertainty.

A new method of coupled fuel-and-energy resources consumption based on artificial neural networks is proposed and adaptive predictive model of heat and power consumption is developed. Methods and synthesis algorithms for a new type of neurocontrollers with adaptive predictive models are developed for heat output control using measured level of power overconsumption in uncertain conditions.

Automated system for residential area heat supply quality monitoring which ensures current estimation and forecasting of redundant power consumption and decision making support for heat output from large heat supply sources is designed and practically applied.

Key words: adaptive predictive models, artificial neural networks, intelligent systems, multi-frequencies self-oscillations, fuzzy systems, central heat supply systems.