

УДК 332

О. О. Воронков,
Харківська національна академія міського господарства

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА РЕГІОНАЛЬНИХ РИНКАХ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

MANAGEMENT OF QUALITY HEAT SUPPLY ON REGIONAL MARKETS OF HEAT ENERGY

В статті розглянуто методичний підхід до управління якістю теплопостачання на регіональних ринках теплової енергії. Розглянуто модель управління якістю теплопостачання, що побудована на базі математичного апарату нечіткої логіки.

In the article the methodological approach to managing quality heat supply on regional markets of heat energy. A model of the quality control heat supply, that is based on mathematical of fuzzy logic.

Ключевые слова: економічність, якість, тепла енергія, нечітка логіка.

Введення. Зростання цін на природний газ провокує заклопотаність всіх шарів українського суспільства високої топливо- і енерговитратністю підприємств комунальної теплоенергетики. Зростання тарифів на послуги теплопостачання зіграло позитивну роль в зміцненні фінансово-економічного стану теплогенеруючих і мережевих підприємств, в яких підвищився рівень відшкодування виробничих витрат, що відносяться на собівартість продукції і послуг. В той же час, еластичність попиту на теплову енергію (ТЕ) в побутовому секторі залишилася дуже низькою, і жодного стримуючого впливу на інтенсивність теплоспоживання збільшені тарифи, по суті, не надали.

Багато експертів відзначають як серйозний недолік сучасних принципів управління якістю теплопостачання їх схильність перетопам [1, 2], під час яких спостерігається істотна перевитрата палива на джерелах теплопостачання, що приводить до помітного зростання витрат на виробництво ТЕ. Причиною цьому є не стільки небажання побутових споживачів економити, скільки технічна невідповідність систем централізованого теплопостачання (СЦТ) до втручання споживачів в режими її функціонування. Загальновідомо, що крупні СЦТ, сформовані за радянських часів на базі районних котельних і опалювальних ТЕЦ, дуже чутливі до зміни гідравлічного стану розгалуженої тепломережі. Це є серйозною перешкодою до масового впровадження локальних систем регулювання теплоспоживання, за допомогою якого споживачі могли б самостійно управляти якістю і вартістю послуги теплопостачання.

У цих умовах вся відповідальність за економічність роботи СЦТ має бути покладена на оперативно-диспетчерський персонал (ОДП), що здійснює первинне і вторинне регулювання режимів теплоспоживання в побутовому секторі, а також на органи управління.

На жаль, цій найважливішій проблемі у нас приділяється украї мало уваги. Всупереч появи нових методичних підходів, що дозволяють інтегрувати економічні критерії в алгоритми управління відпусткою тепла від крупних джерел СЦТ, нормативна база, що регламентує процес ухвалення рішень ОДП, залишається колишньою, ігноруючи реальні проблеми що існують на ринках теплової енергії.

Перша хвиля пропозицій [3, 4, 5] по включенню економічних міркувань в процес призначення добових завдань теплогенеруючих підприємств по виробленню ТЕ ігнорувала реальні пропорції між надлишковим вжитком електричної енергії в побуті (під надлишковим розуміється електровжиток винятково в цілях комфортного опалювання і нагріву води для господарчо-побутових потреб) і що спровокував його недостатньою кількістю ТЕ від теплогенеруючих підприємств. Загальноприйняті у той час уявлення про найкращі режими функціонування комплексу комунального енергопостачання базувалися на переконаності, що використання електроенергії – навіть як замикаючого енергоносія – для задоволення попиту на тепло є недозвільною розкішшю, і тому опалювати житлові масиви потрібно так, щоб мінімізувати надлишкову компоненту в електровжитку. Останню, пропонувалося контролювати на фідерах знижуючих електричних підстанцій, через які здійснюється електропостачання житлових масивів.

Хоча така точка зору, що бере до уваги величезну різницю в питомих витратах палива на вироблення одиниці теплової і одиниці електричної енергії, і не була позбавлена здорового глузду, проте, вже через дуже нетривалий час вона піддалася коректуванню. Зокрема, як оптимальні запропоновано було рахувати такі режими відпустки тепла, які забезпечувало б мінімізацію суспільних витрат на енергопостачання населення під час опалювального сезону [6], що включають поряд з витратами на теплопостачання додаткові витрати на електро- і газопостачання. Такий підхід вже виходив з можливості і доцільності заміщення ТЕ, що виробляється на котельній або ТЕЦ, тепловою енергією, отриманою в домашніх умовах шляхом конвертації електричної енергії або природного «варильного» газу в тепло. В той же час, він як і раніше ігнорував обмежені можливості населення компенсувати недовідпуск ТЕ від ТЕЦ шляхом включення електрообігрівачів із-за низької насиченості домашніх господарств цими приладами.

Якісний стрибок в уявленнях про те, в якому напрямі слід шукати компроміс між якістю і економічністю теплопостачання як комунальної послуги, удалося досягти після того, як був усвідомлений сигнальний характер електричного дотопу, і був сформульований принцип нормування якості теплопостачання по величині питомого надлишкового електровживання житловими масивами, розташованими в теплому районі джерела СЦТ [7]. Цей принцип дозволив поставити питання про контрольоване зниження якості теплопостачання з рівня «відмінне» до рівня «задовільне», при якому основне ядро популяції споживачів – не менше 80 % (відповідно до міжнародних норм) – задовольнялося б тим мікрокліматом, який забезпечується зусиллями лише СЦТ, і не удавалося до електроопалювання навіть у формі комфортного дотопу.

Алгоритмічний підтримці режимів відпустки ТЕ присвячена обширна монографія [8]. У ній представлені всілякі підходи до призначення добового завдання для ТЕЦ по виробленню ТЕ як в рамках сталої практики управління по обурюючій дії (зовнішній температурі), так і в рамках концепції замкнутого управління по сигналах зворотної.

Завершуючи побіжний огляд еволюції уявлень про те, як повинна працювати СЦТ в сучасних умовах, відзначимо ще одну ключову роботу – [9], в якій вперше було запропоновано зв'язати якість теплопостачання з повнотою оплати побутовими споживачами рахунків, виставлених їм компанією, яка постачає теплову енергію.

Ціллю даної статті є описання засад методичного підходу до управління якістю теплопостачання на регіональних ринках теплової енергії, який базується на принципах ув'язаного споживання теплової та електричної енергії, а також синтез нечіткого логічного регулятора (НЛР), який інтегрує організаційно-економічні і технологічні критерії управління теплопостачання.

Основні результати. Неоднозначність планування певного обсягу добового теплоспоживання дозволяє ставити питання про вибір на множині припустимих планів одного найкращого, який забезпечуватиме компромісну якість опалення житлового фонду, враховуючи економічні та технологічні особливості роботи підприємств комунальної теплоенергетики.

У той самий час, якщо намагатися порівнювати ці самі дві категорії в економічному аспекті, не можна не помітити їх нерівнозначності. «Добовий обсяг відпуску тепла» від джерела СЦТ – це добовий обсяг продажу споживачам певної кількості товару, який має свою ціну. В цьому сенсі добовий відпуск тепла цілком підходить на роль звичайного економічного індикатора, що характеризує поточний стан ринку. Споживачеві більш-менш зрозуміло, про що йде мова, коли йому пропонують заплатити за спожиті гікакалорії, але йому нічого не говорять про температуру, про витрати теплоносія, про сукупність цих параметрів.

Перший висновок, який можна зробити з цих міркувань, це те, що процес ринкового реформування теплопостачання повинен супроводжуватися впровадженням у практику технологічного управління генеруючими та мережними підприємствами економічних категорій, які були б не тільки зрозумілі споживачам, але й зручні для налагодження та проведення короткострокових розрахунків з ними за відпущеною продукцією. На базі цих категорій повинна бути розроблена нова мова спілкування постачальника теплової енергії із споживачами, яка акцентувала би увагу з обох боків на економічному характері їх стосунків, на необхідності виконання ними взаємних зобов'язань, та сприяла би зміцненню розуміння регіональної спільноту внутрішньої логіки планування режимів опалення житлового фонду регіональною системою теплопостачання на коротких проміжках часу – добі.

Базовими категоріями цієї нової мови, на наш погляд, повинні стати:

1. період тарифікації послуг РСТ з гарячим водопостачанням – тепла половина року;
2. період тарифікації усього комплексу послуг РСТ – опалювальний сезон;
3. розрахунковий період – доба;
4. тепловий район джерела РСТ – житлові масиви міста, які одержують теплову енергію безпосередньо від джерела;
5. прямі договори – договори на постачання теплової енергії, які укладені між теплогенеруючим підприємством та побутовими споживачами, що проживають у його тепловому районі;
6. територіальний сегмент теплового району – житлові масиви, які одержують теплову енергію від джерела СЦТ через спільну паралельну гілку магістральної тепломережі;
7. компромісна якість теплопостачання – рівень якості теплопостачання, при якому 80 % побутових споживачів задоволено мікрокліматичними умовами у квартирах;
8. добова потреба теплового району джерела СЦТ (або його окремих територіальних сегментів) у тепловій енергії – структурована в розрізі «теплова енергія на потреби гарячого водопостачання – теплова енергія на потреби опалювання» – кількість теплової енергії, яка повинна бути відпущеною від джерела СЦТ у магістральну тепломережу протягом найближчої доби, щоб забезпечити компромісну якість теплопостачання;
9. добова потреба теплового району джерела СЦТ в електричній енергії – структурована в розрізі «електрична енергія на звичайні побутові потреби – електрична енергія на потреби опалювання» прогнозована кількість електричної енергії, яка буде спожита протягом найближчої доби побутовими споживачами, підключеними до джерела СЦТ;
10. повнота оплати побутовими споживачами, що населяють окремі територіальні сегменти, рахунків за теплову енергію, відпущену їм впродовж останнього місяця (виходячи з обсягів, що не перевищують розрахункову добову потребу);
11. повнота задоволення потреби у тепловій енергії в останньому з розрахункових періодів, що завершилися, окремо за кожним територіальним сегментом та за кожним видом послуг;
12. регулярність перерахунку платежів відповідно до реальної якості наданих послуг;
13. заплановані обмеження на якість послуг СЦТ – зниження добових обсягів відпуску тепла на опалення (відповідно до потреби) або обмеження подачі гарячої води споживачам на окремих часових інтервалах найближчої доби;
14. аварійна броня – мінімальний добовий обсяг відпуску теплової енергії на опалення, що забезпечує циркуляцію теплоносія з температурою, за якою виключається можливість замерзання тепломережі в очікуваних погодних умовах;
15. інформаційна відкритість СЦТ – політика теплопостачальної компанії, спрямована на встановлення прозорих відносин із споживачами, зміцнення платіжної дисципліни та, зрештою, конкурентоспроможності СЦТ.

Вже з короткої характеристики категорій, що описують нову систему відносин "теплопостачальна компанія – побутові споживачі", стає зрозумілим, що мова йде про посилення взаємної відповідальності сторін за забезпечення якісної та економічної роботи СЦТ, як того вимагає Закон України «Про теплопостачання». Певні з них вступають в очевидну суперечність з вчорашньою та сьогоднішньою практикою, порушуючи звичний компроміс у співвідношенні надійності, якості та економічності теплопостачання. Підсилюючи вимоги щодо економічності, нова організаційно-економічна система управління припускає послаблення надійності та погіршення якості теплопостачання (рис. 1). Це здається цілком природним, принаймні, на перших етапах її впровадження, поки не відбудеться перебудова і в уявленнях побутових споживачів, наскільки важливо оплачувати надані їм послуги у повному обсязі, і в розумінні менеджменту теплопостачальних компаній того, що при такій дорожнечі палива неприпустимі не лише «технічні» перепади, що ідентифікуються за перевищенням внутрішньою температурою в опалюваних будівлях комфортного рівня, але й «економічні» перепади, під якими ми розуміємо тривале перевищення якості теплопостачання економічно обгрунтованого або, інакше кажучи, підтверженого оплатою споживачів рівня.

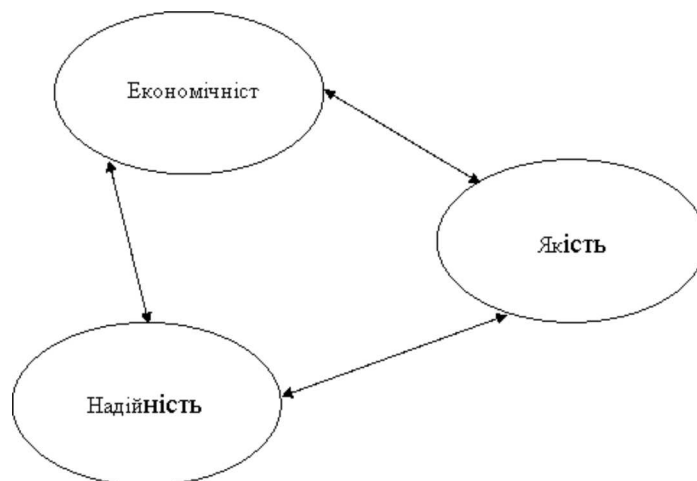


Рис. 1. Система суперечливих вимог до СЦТ

Зрозуміло, що нова система організаційно-економічного управління СЦТ передбачає наявність автоматизованої системи технологічного управління відпуском тепла, за допомогою якої можна оперативно контролювати якість теплопостачання та управляти її рівнем, не допускаючи перепадів. Метою цього підрозділу є визначення реальної потреби споживачів в тепловій енергії, задовольнивши яку, можна забезпечити компромісну якість теплопостачання.

Істотною обставиною є придатність зазначеного принципу для побудови як ретроспективних, так і перспективних (прогностичних) оцінок якості теплопостачання житлових масивів. При ретроспективному аналізі якість оцінюють шляхом порівняння фактичного значення добового електроспоживання з діапазонами, поданими у табл. 1. Ця сама шкала градації якості використовується для побудови перспективних оцінок, але тоді використовують не фактичне, а прогнозоване значення електроспоживання на найближчу добу.

Таблиця 1. Шкала оцінки якості теплопостачання теплового району Харківської ТЕЦ-5 за добовим обсягом електроспоживання Олексівським житловим масивом (період зимового сонцестояння)

Оцінка якості теплопостачання	Діапазон змінювання добового електроспоживання, МВт×год/доб
Надмірна (перепал)	до 350
Добра (компроміс)	350 – 400
Задовільна (недопал)	400 – 450
Незадовільна	понад 450

У роботах [9, 10, 11] на прикладі Олексіївського житлового масиву Харкова (це є крупний, близько 25%, територіальний сегмент теплового району Харківської ТЕЦ-5) розроблено кілька варіантів моделі зв'язного споживання електрики та тепла в побутовому секторі. Але ці моделі є дуже складними для впровадження в роботу ОДП, оскільки вони синтезовані на базі нейромережових технологій, для роботи з якими необхідна підготовка висококваліфікованих спеціалістів, оскільки інтерпретація результатів моделювання є дуже складною.

З метою удосконалення отриманого досвіду в сфері управління якістю теплопостачання житлових масивів розроблено прогностична модель комбінованого електротеплоспоживання (ПМКЕТС). Структура цієї моделі, реалізованої у пакеті MatLab (у середовищі додатку Simulink). При її синтезі ми спиралися на досвід, набутий при синтезі нейромережових моделей – однокрокових предикторів динамічних об'єктів, викладений у [12].

На підставі отриманих за допомогою ПМКЕТС прогностичних значень електроспоживання на опалення побудована шкала оцінки якості теплопостачання теплового району Харківської ТЕЦ-5 за добовим обсягом електроспоживання на опалення Олексіївським житловим масивом (табл. 2).

Таблиця 2. Шкала оцінки якості теплопостачання теплового району Харківської ТЕЦ-5 за добовим обсягом електроспоживання на опалення Олексіївським житловим масивом

Оцінка якості теплопостачання	Діапазон змінювання величини добового споживання електричної енергії на опалювання, МВт×год / доб.
Надмірна (перепал)	до 50
Добра (компроміс)	50 – 100
Задовільна (недопал)	100 – 150
Незадовільна	понад 150

Необхідно відзначити наступне:

– у разі, коли прогнозоване електроспоживання на опалення не перевершує 50 МВт год/доб., очікувану якість теплопостачання можна охарактеризувати як надмірну;

– якщо прогнозоване електроспоживання на опалення складає 50–100 МВт×год/доб, очікувану якість теплопостачання можна охарактеризувати як добру;

– якщо прогнозоване електроспоживання на опалення знаходиться в діапазоні 100–150 МВт×год, очікувану якість теплопостачання можна охарактеризувати як задовільну.

Цільовим діапазоном якості теплопостачання умовимось приймати той, що заслуговує оцінки «добре». З одного боку, він забезпечує істотну економію палива в процесі виробництва теплової енергії, а з іншого боку – гарантує задоволення якістю у понад 80% споживачів. Поєднання вказаних обставин дозволяє говорити, що цей діапазон є бажаним компромісом, який гармонізує суперечливі вимоги економічності та якості, що одночасно пред'являються до послуг регіональної системи теплопостачання.

Логічним наслідком розглянутої логіки міркувань є алгоритм управління якістю теплопостачання, що використовує як сигнал зворотного зв'язку рівень електроспоживання на опалення житлових масивів, розташованих в тепловому районі джерела теплової енергії. Основну ідею управління можна охарактеризувати так: залежно від фактичної або прогнозованої якості теплопостачання добовий відпуск тепла від джерела теплової енергії потрібно збільшувати/зменшувати так, щоб якість теплопостачання стабілізувалася на «доброму» рівні. Ця вимога еквівалентна вимозі приналежності електроспоживання на опалення (на етапі планування режиму відпуску тепла – прогнозованого, при реалізації режиму – фактичного) діапазону 50-100 МВт год/доб. Іншими словами, нас влаштує будь-який алгоритм управління, що забезпечить стабілізацію якості теплопостачання на рівні «добра» за будь-які зміни зовнішньої температури, властиві клімату Харківського регіону.

Зазначений підхід добре узгоджується з логічною системою обробки інформації «нечітка логіка» (fuzzy logic), що застосовується у нечітких логічних регуляторах (НЛР). Нечітка логіка має переваги порівняно з класичними методами управління, такими, наприклад, як ПІД-регулятори, що застосовують при управлінні складними нелінійними об'єктами в умовах невизначеності, при обробці експертних (лінгвістично сформульованих) даних. На відміну від поширених методів нечітка логіка оперує не цифровими, а лінгвістичними змінними.

Ключовими етапами перетворення інформації за допомогою НЛР є:

– фазифікація, тобто перетворення множини значень аргументу x на певну функцію приналежності $M(x)$, тобто переведення значень x у нечіткий формат;

– дефазифікація, тобто процес, зворотний до фазифікації.

Системи з нечіткою логікою функціонують за наступним принципом. Поточне значення впливаючого фактору фазифікується (переводиться у нечіткий формат), логічно обробляється, дефазифікується, і потім у вигляді звичайного сигналу (управляючого впливу) подається на об'єкт управління.

Синтезований регулятор може бути використана як елемент АСУ якістю теплопостачання теплового району на базі НЛР. Загальна схема програмно-алгоритмічного полігону, використаного при проведенні сценарних досліджень процесу енергоспоживання житловими масивами на базі ПМКЕТС та різноманітних варіантів НЛР, подана на рис. 2.

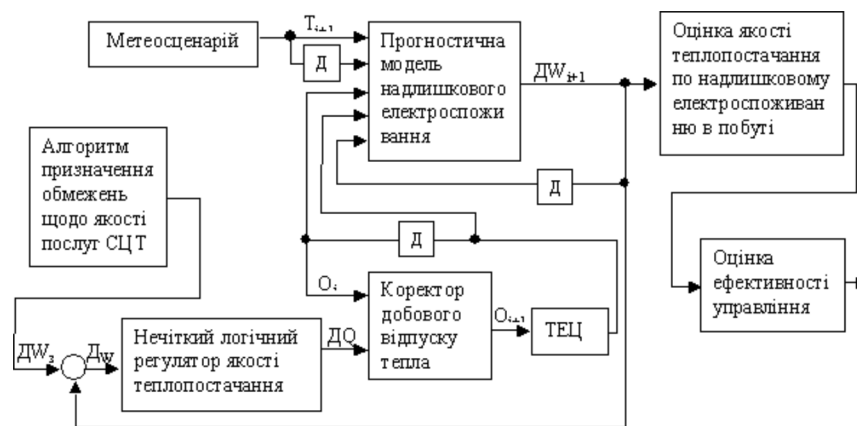


Рис. 2. Структурна схема програмно-алгоритмічного полігону для синтезу та дослідження АСУ якістю теплопостачання на базі НЛР

На рис. 2 використані наступні умовні позначення:

T_{i+1} – прогнозована зовнішня температура на наступну добу;

ΔW_3 – уставка за обсягом добового споживання електроенергії на опалення в побутовому секторі (міра перевищення фактичним добовим споживанням електроенергії певного рівня, який не дозволить виникати перепалам житлових помешкань);

ΔW_{i+1} – прогнозоване добове споживання електроенергії на опалення;

ΔW – відхилення прогнозованого рівня добового споживання електроенергії на опалення в побутовому секторі від уставки (міра недосконалості управління якістю теплопостачання, похибка у вихідній координаті об'єкту управління);

ΔQ – управляючий вплив (кількість теплової енергії, на яку необхідно збільшити/зменшити добовий відпуск тепла від ТЕЦ, щоб забезпечити потрібну якість теплопостачання);

Q_i – відпуск тепла в поточній добі;

Q_{i+1} – відпуск тепла, запланований на наступну добу;

Δ – оператор затримки на 1 крок сценарних досліджень.

При перших спробах синтезу АСУ було прийняте рішення обмежитися структурою НЛР типу SISO (single input – single output). Єдиною вхідною змінною НЛР стало відхилення добового електроспоживання на опалення, розраховане на підставі ПМКЕТС, від уставки (бажаної величини):

$$\Delta W = \Delta W_3 - \Delta W_{i+1} \quad (1)$$

Вихідною змінною НЛР є величина $\Delta Q = f(\Delta W)$, на яку необхідно скорегувати поточний добовий відпуск тепла Q_i , щоб розрахувати добовий відпуск тепла в наступній добі:

$$Q_{i+1} = Q_i + \Delta Q \quad (2)$$

При цьому величина ΔQ може приймати як додатні, так і від'ємні значення.

Для виконання операції (2) в структурну схему АСУ введений коректор, що має два входи для відповідних змінних. Вихідною змінною коректора є відпуск теплової енергії на наступну добу, що подається на вхід динамічної ланки, позначеної як „ТЕЦ”. В проведених експериментах ця ланка ніяк не трансформувала величину вхідного сигналу, перетворюючи його на вихідний.

З метою здійснення можливості застосування НЛР для управління якістю теплопостачання у будь-яких СЦТ виникла необхідність підбору універсальних діапазонів змінювання його вхідних та вихідних змінних, а також їх нормування в межах

$$DW^* \in [-1;1]; \quad (3)$$

$$DQ^* \in [-1;1]. \quad (4)$$

Нормування змінних виконується наступним способом (рис.3).



Рис. 3. Структурна схема НЛР

На рис. 3 використані наступні умовні позначення:

ΔW^* – нормоване значення електроспоживання на опалення;

ΔQ^* – нормоване значення управляючого впливу.

Для нормування вхідної та масштабування вихідної змінних використовувались нормувальні коефіцієнти (коефіцієнти масштабування) $k_1^{НЛР}$, $k_2^{НЛР}$, відповідно, на вході та на виході НЛР.

Нормування вхідної змінної здійснювалось за правилом:

$$\Delta W^* = \frac{\Delta W}{k_1^{НЛР}} \quad (5)$$

де $k_1^{НЛР}$ – максимально припустиме відхилення електроспоживання на опалення від рівня, заданого уставкою, тоді

$$\Delta W^* = \frac{\Delta W}{\Delta W^{max}} \quad (6)$$

де ΔW^{max} – максимальне електроспоживання на опалення.

Правило масштабування вихідної змінної:

$$\Delta Q = k_2^{НЛР} \Delta Q^* \quad (7)$$

Будемо вважати, що відхилення поточного рівня електроспоживання на опалення від уставки може належати до будь-якого з трьох наступних діапазонів:

$\Delta W^* \in [-1;0]$, що відповідає надмірній якості теплопостачання;

$\Delta_W^* = 0$, що відповідає добрій якості теплопостачання;

$\Delta_W^* \in [0; 1]$, що відповідає задовільній або незадовільній якості теплопостачання (для спрощення поєднаємо ці дві оцінки в одну – "незадовільно").

Тоді для вхідної змінної обмежимося трьома термами, побудованими з використанням кусково-лінійних функцій.

Аналогічна ситуація складається при аналізі можливих значень вихідної змінної. Вона так само може знаходитися в трьох діапазонах:

$\Delta Q^* \in [-1; 0]$, що свідчить про необхідність зменшити відпуск тепла;

$\Delta Q^* = 0$, тобто немає необхідності корегувати відпуск тепла;

$\Delta Q^* \in [0; 1]$, що свідчить про необхідність збільшити відпуск тепла.

Тому для вихідної змінної також приймемо кількість термів що дорівнює трьом.

Для визначеності опишемо параметри термів для кожної з лінгвістичних змінних (ЛЗ). Назвемо вхідну ЛЗ «Якість теплопостачання» з відповідними градаціями «Надмірна», «Добра» та «Незадовільна», що співпадають з табл. 2. Для діапазонів значень ЛЗ, що відповідають «Надмірній» та «Незадовільній» якості теплопостачання, терми задамо у формі трапеції, а для градації «Добра» якість – у формі трикутника. Для прозорості введемо наступні позначення для параметрів термів:

$$\mu_{\text{Надмірна}} = f[\Delta_W^*; a; b; c; d], \mu_{\text{Добра}} = [\Delta_W^*; e; f; g], \mu_{\text{Незадовільна}} = [\Delta_W^*; h; k; l; m]$$

Той самий принцип використаємо для формування термів вихідної ЛЗ – «Приріст відпуску тепла» з градаціями «Збільшити відпуск тепла», «Не змінювати відпуск тепла» та «Зменшити відпуск тепла». Для градацій «Збільшити відпуск тепла» та «Зменшити відпуск тепла» форми термів задамо трапецієподібними, а градацію «Не змінювати відпуск тепла» – термом трикутної форми:

$$\mu_{\text{Збільшити}}[\Delta Q^*; a; b; c; d], \mu_{\text{Не змінювати}}[\Delta Q^*; e; f; g], \mu_{\text{Зменшити}}[\Delta Q^*; h; k; l; m]$$

Функції приналежності вхідної та вихідної змінних НЛР представлені на рис. 4.

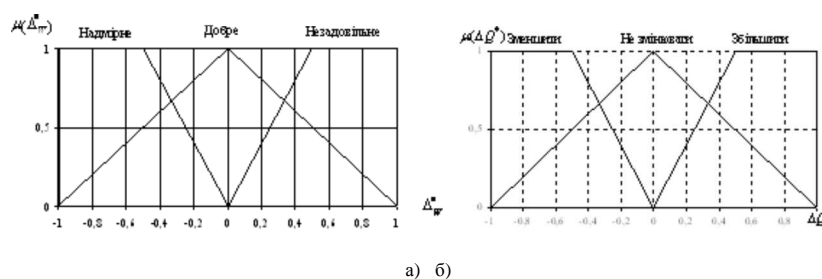


Рис. 4. Функції приналежності лінгвістичних змінних НЛР

а) вхідна ЛЗ "Якість теплопостачання";

б) вихідна ЛЗ "Приріст у відпуску тепла"

Сформулюємо правила логічного виводу згідно із способом управління відпуском тепла від ТЕЦ, запропонованим в [13]:

1. Якщо «Якість теплопостачання» є «Доброю», то «Відпуск тепла» змінювати не треба.
2. Якщо «Якість теплопостачання» є «Незадовільною», то «Відпуск тепла» необхідно збільшити.
3. Якщо «Якість теплопостачання» є «Надмірною», то «Відпуск тепла» необхідно зменшити.

Як алгоритм виводу в досліджуваному варіанті НЛР використано алгоритм Мамдані [14,15], згідно з яким дефазифікація вихідної змінної здійснюється за методом центру тяжіння.

Із-за відсутності досвіду використання НЛР в теплопостачанні, вибір оптимальних профілів та параметрів термів нечітких лінгвістичних змінних поки що залишається відкритим питанням. Тому наступний етап досліджень був присвячений вивченню робочих характеристик НЛР, а саме – вигляду залежності «вхід-вихід»

$$\Delta Q^* = f(\Delta_W^*), \quad (8)$$

здійснюваного НЛР при подачі на його вхід лінійного сигналу з дискретним кроком 0,01:

$$x \in [-1; 1], \quad (9)$$

при різних комбінаціях налаштування параметрів, що описують форму термів вхідної ЛЗ «Якість теплопостачання» Δ_W^* . Параметри термів ЛЗ «Відпуск тепла» залишалися при цьому постійними.

Результати проведених з регулятором чисельних експериментів свідчать, що зміна параметрів налаштування регулятора дозволяє управляти його чутливістю в діапазоні значень, близьких до нуля, а також варіювати нелінійність робочої характеристики. Така властивість може бути корисною при виборі значень параметрів термів з метою зменшення або збільшення приросту відпуску тепла при якості теплопостачання, близької до доброї. Проведені експерименти не дають однозначного рішення проблеми підбору параметрів НЛР, проте демонструють його гнучкість, яка, однозначно, є передумовою успішного вирішення задачі управління нелінійними об'єктами, до яких належить і ПМКЕТС.

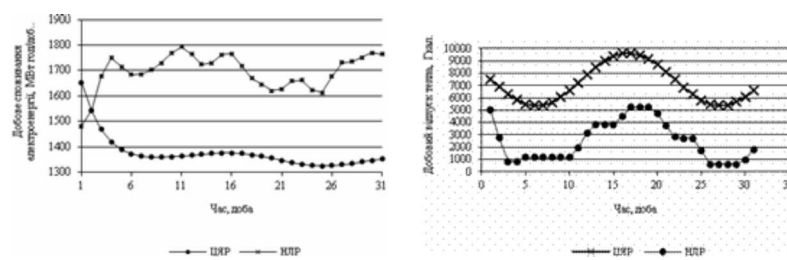
Оскільки реакції побутових споживачів на якість теплопостачання при низькій та помірній зовнішній температурі істотно відрізняються, доцільно поділити діапазон значень зовнішньої температури на піддіапазони, подані в табл. 3, після чого синтезувати регулятори відпуску тепла для кожного з них.

Таблиця 3. Піддіапазони коливань зовнішньої температури

Характеристика погодних умов	Діапазон зовнішньої температури, °С
Холодна погода	-23; -8
Тепла погода (відлига)	-8; +8

Співставлення перехідних процесів в СЦТ, отриманих при виконанні сценарних досліджень за алгоритмами НЛР та центрального якісного регулювання (ЦЯР) (рис. 5), свідчить, що НЛР, налаштований на добру якість теплопостачання, здатен ефективно управляти тепловим станом житлових масивів. Не порушуючи обмежень на величину добового приросту у відпуску тепла, він ефективно усуває перепади та утримує добові обсяги побутового електроспоживання в межах

заданого діапазону.



а) б)

Рис. 5. Місячні графіки споживання електричної та теплової енергії тепловим районом ХарТЕЦ-5 при застосуванні НЛР та ЦЯР

а) – споживання електроенергії; б) – споживання теплової енергії

Друга відмінна особливість роботи НЛР – це генерування ним управляючих впливів у вигляді послідовності плато. Це зближує його з прийомами управління енергогенеруючим обладнанням, якими користуються досвідчені диспетчери. Зокрема, вони намагаються утримуватися від частих змін у режимах роботи устаткування, запобігаючи зростанню аварійності та мінімізуючи зусилля, необхідні для підтримання належного рівня координації технологічного процесу виробництва теплової енергії з процесом паливостачання ТЕЦ.

Фаззі-логіка є засобом формалізування способу мислення людини, і тому алгоритми, що використовують її правила, просто відтворюють в більшій або меншій мірі спосіб вибору величини управляючих впливів людиною-оператором.

Висновки Результати досліджень приведених в цій статті дозволяють прийти до наступних висновків.

1. Принцип корегування добових обсягів відпуску тепла від джерела СЦТ за обсягами споживання електроенергії на опалення та теплової енергії відпущеної від крупного джерела в побутовому секторі є достатнім для управління якістю теплопостачання житлових масивів. НЛР здатні досить швидко переводити якість теплопостачання з одного рівня на інший.

2. Максимально спрощена структура НЛР характеризується прозорістю впливу величини налаштовуваних параметрів термів на вигляд робочої характеристики "вхід-вихід" регулятора, що дозволяє використовувати їх практиці.

3. Довільна розбивка діапазону змінювання зовнішньої температури на два піддіапазони та наступний синтез НЛР для кожного з них потребує подальшого аналізу на предмет доцільності подальшого дроблення температурних піддіапазонів. Можливо, що прихильність до простих структур НЛР робить доцільним ретельний аналіз особливостей побутового енергоспоживання не тільки при різних типах зимової погоди, але й у різні пори року, які мають свої специфічні відмінності.

4. Синтезовані в результаті чисельних експериментів регулятори можуть розглядатися як надійний допоміжний засіб короткострокового прогнозування потреби споживачів у тепловій енергії та планування режимів роботи підприємств комунальної теплоенергетики.

5. Застосування НЛР сприятиме досягненню компромісу між якістю та економічністю теплопостачання мешканців теплового району, дозволить скоротити виробничі витрати та зменшити відпускні тарифи для роздрібних споживачів.

Література

1. Васина Е. М., Гашо Е. Г. Опыт и проблемы адекватного использования данных массового учета и мониторинга ресурсопотребления // Энергосбережение.– 2006. №2.– с. 45-55.
2. Богданов А. Б. Котельнизация России - беда национального масштаба (ч. 1-3), www.rosteplo.ru.
3. Вороновский Г.К., Сергеенкова Г.Г., Сергеев С.А. Способ центрального регулирования отпуска тепла от ТЭЦ жилым массивам.– Патент № 25665 України на винахід, МПК F24D 3/00; Заявл. 16.04.1997; Опубл. 17.09.2001, Бюл. №8.
4. Через информатизацию – к открытости информации и здоровой конкуренции в региональной энергетике / А.В.Котляр, С.А.Сергеев, Г.Г.Сергеенкова, А.В.Сушков // Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань.– Київ, 1998.– №5.– сс.55-58.
5. Вороновский Г.К. Нечеткое адаптивное управление отпуском тепла в системах управляемого теплоснабжения // Вісник Національного технічного університету "ХПІ".– Х.: НТУ "ХПІ", 2002.– №9, т.6.
6. Вороновский Г.К., Кирик С.В., Сергеев С.А. Оперативное управление централизованным теплоснабжением (Внедрение экономических критериев) // Бизнес-Информ.– Харьков, 1999.– №13-14.– сс.79-82.
7. Вороновский Г.К. Системный подход к оценке качества теплоснабжения жилых массивов // Энергетика та електрифікація. – Київ, 2000. –№ 6.– сс.37-40.
8. Вороновский Г.К. Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях. Х.: Изд-во «Харьков», 2002.– 240 с.
9. Вороновский Г.К., Ольшевский А.М., Сергеев С.А. Активное управление спросом и потреблением ТЭР в коммунально-бытовом секторе как средство раскрытия стабилизационного потенциала муниципальных энергокомплексов // Энергетика: економіка, технології, екологія. – Київ, 2001.– №4.– сс.37-40.
10. Вороновский Г. К. Нейросетевая модель святого потребления тепловой и электрической энергии крупным жилым массивом города / Г. К. Вороновский, В. Б. Клепиков, М. В. Коваленко, К. В. Махатило // Вестн. Харьк. гос. политехн. университета. Сер. "Электротехника, электроника и электропривод" – 2000. – вып. 113. Проблемы автомат. электропривода. – С. 363-366.
11. Вороновський Г. К. Чисельні експерименти з прогностичною моделлю попиту на теплову та електричну енергію, що споживаються населенням протягом опалювального сезону / Г. К. Вороновський // Автоматизація виробничих процесів. – 2001.- № 2.- С. 11-14.
12. Вороновский Г.К. Эволюционный синтез предиктора динамического объекта управления на базе RBF-нейронных сетей / Г.К. Вороновский, С.Н. Петрашев, К.В. Махатило // Труды научно-технической конференции с международным участием «Проблемы автоматизированного электропривода», Крым, Алушта, 16-21 сентября 1996 г. - Харьков: Основа. - 1996.- С.276-279.
13. Розробка алгоритмів управління температурними режимами теплоносія з метою енергозбереження при виробництві теплової енергії на ВАТ "Харківська ТЕЦ-5", Розділ 5 // Звіт про НДР/НТУ "ХПІ". – 92539; № ДР 0107U003014, №ДО 0207U006530, - Харків, 2007. 111 с.
14. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. - Санкт-Петербург: Питер, 2001 - с. 307-309
15. Леоненков А.В. Нечеткое управление в среде MatLab и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.3.

Стаття надійшла до редакції 19.01.2012



ТОВ "ДКС Центр"