

16. Тихонов, А. Н. Уравнения математической физики [Электронный ресурс] / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – Режим доступа: <http://pskgu.ru/ebooks/tihonov.html>
17. Коган, И. Ш. Физические аналогии – не аналогии, а закон природы [Электронный ресурс] / И. Ш. Коган. – Технион – Израильский технологический институт, Хайфа. – Режим доступа: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/1362.pdf>
18. Богданов, С. Н. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. [Текст] / С. Н. Богданов, С. И. Бурцев, О. П. Иванов, А. В. Куприянова; под ред. С. Н. Богданова; 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГАХИТ, 1999. – 320 с.
19. Бушер, В. В. Идентификация элементов климатических систем дифференциальными уравнениями дробного порядка [Текст] / В. В. Бушер // Электромашинобуд. та електрообладн. – 2010. – № 75. – С. 68–70. – Режим доступа: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/etks_2010_75_14.pdf
20. Busher, V. Modeling and Identification of Systems with Fractional Order Integral and Differential [Text] / V. Busher, V. Yarmolovich // Electrotechnical and Computer Systems. – 2014. – Vol. 15, Issue 91. – P. 52–56. – Режим доступа: <http://etks.opu.ua/?fetch=articles&with=book&id=15>

Досліджено можливість застосування теоретико-множинного підходу для формалізації процедур багаторівневого організаційно-технологічного управління системами комунальної теплоенергетики (КТЕ), розглянуто алгоритми координування міжрівневої взаємодії їх підсистем та використання логико-математичних функцій для комплексного урахування організаційних і техніко-технологічних та екологічних складових управління такого роду системами. Приведено результати моделювання, що підтверджують можливість підвищення на 20–40 % ефективності функціонування систем КТЕ за рахунок оптимізації управління

Ключові слова: комунальна теплоенергетика, організаційно-технологічне управління, багаторівневі системи управління, координування взаємодії, енергоекономічна ефективність

Исследованы возможности применения теоретико-множественного подхода для формализации процедур многоуровневого организационно-технологического управления системами коммунальной теплоэнергетики (КТЭ), рассмотрены алгоритмы координирования межуровневого взаимодействия их подсистем и использования логико-математических функций для комплексного учета организационных и технико-технологических составляющих управления такого рода системами. Приведены результаты моделирования, подтверждающие возможности повышения на 20–40 % эффективности функционирования систем КТЭ за счет оптимизации управления

Ключевые слова: коммунальная теплоэнергетика, организационно-технологическое управление, многоуровневые системы управления, координация взаимодействия, энергоэкономическая эффективность

УДК 621.311:697.34

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59416

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ КОМУНАЛЬНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

Б. І. Басок

Доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, завідувач відділом Відділ теплофізичних основ енергозберігаючих технологій Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України
вул. Желябова, 2а, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: basok_nat@rambler.ru

Т. О. Євтухова

Молодший науковий співробітник Відділ ефективності енерговикористання та оптимізації енергоспоживання Інститут загальної енергетики Національної академії наук України
вул. Антоновича, 172, м. Київ, Україна, 03150
E-mail: tatyana.eutukhova@yandex.ua

1. Вступ

Комунальна теплоенергетика (КТЕ) є однією з визначальних складових паливно-енергетичного комплексу країни, що поєднує в собі підприємства теплопостав-

чання, об'єднані в регіональні (обласні, міські, районні тощо) системи, діяльність яких регулюється державними та місцевими органами влади на національному та регіональному рівнях. Основним призначенням КТЕ є забезпечення кінцевих споживачів, головним чином

населення і частково – промислові підприємства, послугами з опалення та гарячого водопостачання.

Низька ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) у системах КТЕ в Україні є проблемою національного рівня, що створює загрозу енергетичній безпеці країни і потребує негайного розв'язання. У першу чергу, такий стан речей пояснюється недоліками адміністративно-командного управління цим сектором економіки з боку державних та місцевих органів влади, які у кінцевому результаті призвели до збитковості підприємств КТЕ в Україні та відсутності фінансових ресурсів на модернізацію застарілого теплоенергетичного обладнання.

Тому, розв'язання та наукове обґрунтування теоретичних і практичних питань оптимального управління системами КТЕ, яке забезпечує підвищення ефективності їх функціонування, є актуальним науковим завданням.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Актуальність задачі підвищення ефективності функціонування систем КТЕ підтверджується багаточисленними публікаціями. Так, стан проблеми та шляхи технологічної модернізації систем КТЕ в Україні детально аналізуються в колективній монографії [1], де зроблено висновок, що підвищення ефективності використання ПЕР в сучасних умовах має здійснюватися за критеріями сталого розвитку, які системним чином охоплюють енергетичні, економічні та екологічні (3-Е) аспекти функціонування та розвитку систем КТЕ. Аналогічні питання для країн Центральної і Східної Європи розглянуті в обзорі [2], з тою принциповою відмінністю, що значну увагу приділено покращенню екологічної ситуації, розвитку конкуренції та залученню інвестицій у модернізацію систем централізованого тепlopостачання в цих країнах. Наявність значного, ще не реалізованого, потенціалу підвищення ефективності систем КТЕ з урахуванням екологічних та економічних аспектів їх діяльності обґрунтовано в науковому звіті [3]. Результати дослідження конкурентних переваг систем КТЕ у порівнянні з іншими видами забезпечення кінцевих споживачів тепловою енергією, які підтверджують доцільність подальшого пошуку шляхів підвищення ефективності функціонування систем КТЕ, представлені в роботах [4, 5].

Однак вирішення цієї проблеми не є простим і потребує додаткового наукового дослідження, яке має розглядати систему управління КТЕ як багаторівневу, організаційно-технологічну систему. Як це і є у дійсності, її ієрархічно побудована структура має враховувати організаційні підсистеми адміністративного управління, нормативно-правового регулювання та управління технологічними підсистемами. При цьому серед останніх необхідно розрізняти підсистеми виробництва, транспортування, розподілення і кінцевого споживання теплової енергії.

Основи теорії ієрархічних багаторівневих систем організаційно-технологічного управління з ієрархічною структурою розроблені у монографії [6], де оптимальні рішення знаходяться за допомогою математичного апарата теорії множин із залученням теорії координування. Методи формалізації математичних моделей оптиміза-

ції ієрархічних структур розглядаються в роботі [7], а реалізації алгоритмів координування і економічного стимулювання в такого роду системах – в роботі [8].

Подальший розвиток ця тема отримала в роботі [9], де поєднання на базі теоретико-множинного підходу положень теорії багаторівневих ієрархічних систем та теорії управління великими системами дозволило визначити основні структурно-функціональні блоки організаційно-технологічного управління використанням ПЕР в такого роду системах. Слід особливо виділити роботу [10], де основну увагу приділено можливостям використання теорії ієрархічних багаторівневих систем управління при декомпозиції структури інтегрованих автоматизованих систем керування електростанціями та енергоблоками, а також роботу [11], де розглядаються принципи побудови багаторівневого управління підвищенням 3-Е ефективності на прикладі системи, що охоплює основні типи підсистем КТЕ.

Незважаючи на досягнуті у цій сфері наукових досліджень результати, не вирішеними залишилися питання оптимального управління підвищенням ефективності функціонування багаторівневих систем КТЕ за критеріями 3-Е ефективності, визначення математичного апарату для поєднання організаційних і техніко-технологічних факторів виробництва, транспортування і кінцевого споживання теплової енергії, а також формалізації алгоритмів координування взаємодії підсистем КТЕ, що враховують специфіку їх функціонування.

3. Ціль та задачі дослідження

Проведені у роботі дослідження ставили за мету розробку методу оптимального управління системами комунальної теплоенергетики, який дозволяє підвищити ефективність їх функціонування шляхом комплексного урахування організаційних, техніко-економічних та екологічних аспектів управління такого роду системами.

Для досягнення мети вирішувалися наступні задачі:

- визначити основні складові методу оптимального управління підвищенням 3-Е ефективності у багаторівневих системах КТЕ;
- дослідити можливості застосування логіко-математичних функцій для поєднання організаційних і техніко-технологічних факторів виробництва, транспортування і кінцевого споживання теплової енергії;
- формалізувати алгоритм координування взаємодії елементів (підсистем) складних систем багаторівневого організаційно-технологічного управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ.

4. Матеріали та методи дослідження впливу оптимального управління на ефективність систем комунальної теплоенергетики

4.1. Експериментальні дослідження

Достовірність отриманих у роботі результатів дослідження властивостей пропонованого методу оптимального управління підтверджується збігом розрахункових даних, отриманих за допомогою імітацій-

ного моделювання, з даними експериментального дослідження регіональної системи КТЕ одного з міст України, яка складається з 3-х районних котельень, 3-х розподільчих теплових мереж та 26-ти багатоповерхових будинків з загальним тепловим навантаженням 13 МВт. Частина представницької вибірки оброблених статистичних даних, отриманих на етапах збирання і аналізування експериментальних даних, призначених для тестування і калібрування розрахункової моделі, представлена на рис. 1, 2, де наведеному у горизонтальній послідовності порядку відображення періодів часу (рокам) відповідає вертикальний порядок розташування рівнянь та величин достовірності апроксимації.

Можна бачити лінійний характер залежностей обсягів витрат природного газу від значення градусодоби протягом всього опалювального періоду (від температури зовнішнього повітря також), що значно спрощує алгоритми управління ефективністю систем КТЕ. Однак, це не стосується аналогічних залежностей обсягів витрат електричної енергії, що потребує застосування додаткових процедур дискретизації та лінеаризації цих залежностей при реалізації методу оптимального управління.

У сукупності, повна представницька вибірка частково наведених на рис. 1, 2 даних відображає роботу поверхню у багатовимірному просторі функціонування системи КТЕ, відносно якої здійснюється верифікація результатів імітаційного моделювання перед їх використанням у процедурі прийняття управлінських рішень.

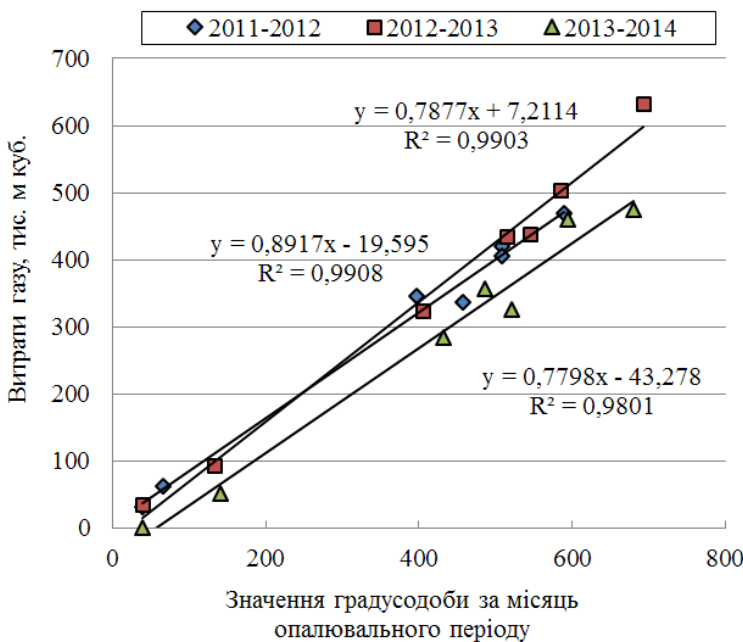


Рис. 1. Залежність витрат газу на виробництво теплоенергії від значення градусодоби

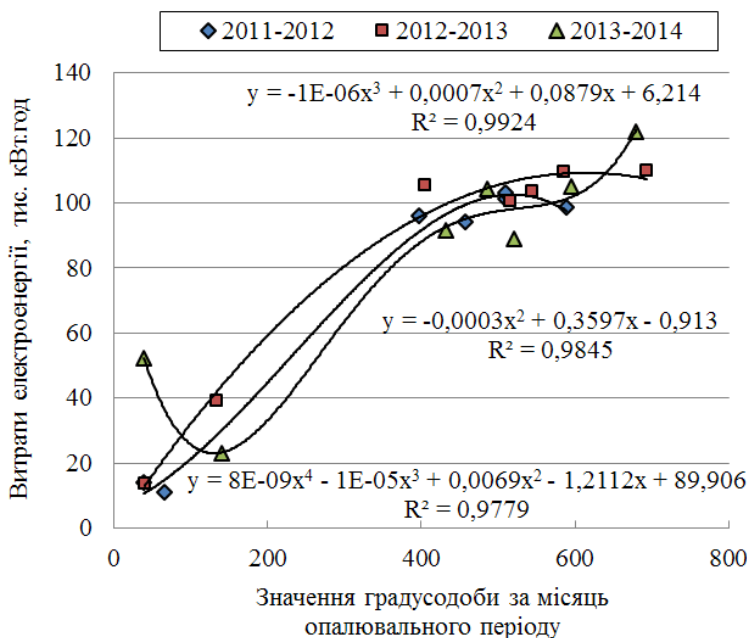


Рис. 2. Залежність витрат електроенергії у системі від значення градусодоби

4. 2. Методичний базис інструменту дослідження

Дослідження базується на системному підході до координування взаємодії елементів складної системи КТЕ, що охоплює енергетичні, економічні і екологічні компоненти та розглядає систему управління підвищенням ефективності КТЕ як систему систем з урахуванням багаторівневості її структури та багатокритеріальності цільових функцій. Це здійснюється шляхом застосування локальних критеріїв ефективності на кожному рівні управління, узгодження локальних критеріїв з глобальним критерієм ефективності функціонування системи та використання прямих і зворотних зв'язків для мінімізації відхилень поведінки системи за наявних неузгодженостей між глобальною і локальними цілями управління.

Координування взаємодії елементів (підсистем) багаторівневої системи КТЕ здійснюється за алгоритмом вибору оптимального ступеню організаційно-функціональної самостійності елементів (об'єктів, суб'єктів) системи в межах внутрісистемних обмежень, що регулюються вище розташованими суб'єктами (об'єктами), і де в якості критеріїв оптимальності виступають показники 3-Е ефективності функціонування суб'єктів і об'єктів управління: прибуток, рентабельність виробництва, коефіцієнт ефективності використання теплоти палива, ККД, рівень викидів забруднюючих речовин тощо.

Проведене наукове дослідження базується на методах теорій системних досліджень в енергетиці, ієрархічних багаторівневих систем, оптимального управління ресурсами та багатокритеріальної оптимізації. При цьому, на верхньому рівні системного підходу застосовуються укрупнені моделі, параметри яких деталізуються та уточнюються за ітеративним процесом у міру зниження рівня.

5. Результати дослідження системи оптимального управління

5. 1. Формалізація рівнянь, що описують поведінку системи

Враховуючи складність розв'язання задачі, формалізацію методу оптимального управління здійснено на основі теоретико-множинного підходу, де взаємозв'язки між змінними стратифікованих підсистем на всіх рівнях системи управління встановлено у вигляді упорядкованих сукупностей відображень множин вхідних змінних $x_i^j \in X_i^j$ в множини $y_i^j \in Y_i^j$ вихідних змінних підсистем i -го рівня на кожному j -му інтервалі часу з подальшим урахуванням (деталізацією) впливу на ці змінні управляючих $u_i^j \in U_i^j$ та зворотних $z_i^j \in Z_i^j$ змінних. За означеним підходом, для кожного з рівнів системи оптимального управління сформовано наступну основну систему відображень F_i^j управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ за допомогою декартових добутків

$$F_i^j = X_i^j \times U_i^j \times Z_i^j \rightarrow Y_i^j, \quad i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J} \quad (1)$$

та додаткову систему наступних двох підсистем відображень вихідних змінних в змінні управляючих і зворотних зв'язків між рівнями системи управління

$$\alpha_i^j = Y_i^j \rightarrow U_i^j; \quad \beta_i^j = Y_i^j \rightarrow Z_i^j, \quad (2)$$

над простором яких задано цільові функції управління

$$Q_i^j = Q_i^j(X_i^j, Y_i^j, U_i^j, Z_i^j) \rightarrow \text{opt}. \quad (3)$$

Застосування процедур лінеаризації нелінійних залежностей та використання логіко-математичних функцій ЕСЛИ (IF), И (AND), ИЛИ (OR), НЕ (NOT) у процесі відображення систем рівнянь (1), (2) на площину табличного процесору, дозволило природним чином врахувати нормативно-правові та адміністративні впливи на енергетичні, економічні та екологічні аспекти виробництва, перетворення, транспортування і кінцевого споживання теплової енергії. При цьому, використання логічних функцій з вкладеними циклами значно розширило можливості реалізації складних алгоритмів організаційно-технологічного управління, насамперед тих, що допускають багатоваріантні розгалужені рішення, у тому числі, з властивостями гістерезису, а також застосовують системи штрафних функцій і винагород.

5. 2. Оптимальне управління шляхом координування взаємодії елементів системи КТЕ

Управління шляхом координування взаємодії реалізовано за допомогою процедур знаходження рішення глобальної (загальносистемної) задачі Q^S оптимізації параметрів $\lambda_i^j(Q^S)$ системи КТЕ, що складається з сукупності рішень ієрархічно підпорядкованих локальних задач оптимізації $Q_i^j(u_i^j)$, які розв'язують нижче розташовані підсистеми під впливами U вище розташованих управляючих органів. Задачу координування управляючих дій системи формалізовано у вигляді

$$\Delta(\lambda(Q^S) - \bar{\lambda}(Q^S)) \rightarrow \min, \quad (4)$$

приймаючи до уваги, що $\bar{Q}^S(u) = \{Q_1(u_1), \dots, Q_I(u_I)\}$ є сукупність локальних задач, яка потребує окремого від Q^S рішення, а $\bar{\lambda}(Q^S) = \{\lambda_1(Q_1), \dots, \lambda_I(Q_I)\}$ – рішення задачі $Q^S(u)$.

Реалізація задачі (4) здійснюється шляхом вибору оптимального ступеню організаційно-функціональної самостійності нижче розташованих елементів (об'єктів, суб'єктів) системи в межах загальносистемних обмежень, які встановлюються вище розташованими суб'єктами (об'єктами), що дозволяє застосовувати до розв'язання проблеми методи та алгоритми математичного програмування з варійованими обмеженнями, які мають класичні розв'язки.

При цьому задача оптимального управління за виразами (1)–(4) стає задачею багатокритеріальної оптимізації, розв'язання якої у свою чергу потребує окремого визначення критеріїв (принципів) оптимальності (ефективності) і стійкості (рівноваги) рішень, що приймаються у процесі координування. У роботі застосовується принцип оптимальності Парето, за яким рішення $\{\hat{\lambda}_1(Q_1), \dots, \hat{\lambda}_I(Q_I)\}$ вважається ефективним, якщо не існує будь-якого іншого рішення $\{\tilde{\lambda}_1(Q_1), \dots, \tilde{\lambda}_I(Q_I)\}$, при якому значення кожного параметру, що характеризує систему, не може бути покращено без погіршення інших.

Реалізація за таким підходом процедур координування взаємодії між підсистемами здійснюється шляхом корегування можливих неузгодженостей за допомогою пошукового алгоритму з обмеженнями, що враховують структурні і параметричні фактори впливу.

5. 3. Оптимальне управління шляхом координування взаємодії учасників виконання регіональних програм енергозбереження

Координування взаємодії підсистем (об'єктів, суб'єктів) на регіональному рівні здійснюється за програмно-цільовим підходом в межах регіональних (міських тощо) програм енергозбереження, де ефективність зусиль учасників програми на кожному етапі (за кожний період часу t) та по кожному з h продуктів, що виробляються, оцінюється системою нормованих показників $r_{Y,E}^e(t) = (r_Y^e(t), r_E^e(t))$ у вигляді їх наступної сукупності:

$$\begin{aligned} \bar{r}_I^e &= \min_{t \in (0, T)} r_{Y,E}^e(t), \quad \bar{r}_{II}^e = \left(\sum_{e=1}^h r_{Y,E}^e(t) \right), \\ \bar{r}_{III}^e &= \sqrt{\sum_{e=1}^h (r_{Y,E}^e(t))^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

де індекс Y перелічує завдання програми щодо обсягів та якості виробництва продуктів, а E – програмні завдання щодо обсягів і якості досягнутого за регіональною програмою ефекту.

За цих умов, задача програмно-цільового управління бюджетом програми вирішується шляхом вибору чисельних значень параметрів і коефіцієнтів управляючих впливів, за якими досягається якнайкраще виконання програми, а структурні підрозділи регіонального органу управління, які безпосередньо не виробляють продукцію, мають здійснювати таке управління за одним з цільових функціоналів \bar{Q} , визначених на базі нормованих показників (5):

$$\bar{Q}_I = \min_e \min_t (\delta^e(t)r^e(t)) \rightarrow \max;$$

$$\bar{Q}_{II} = \left(\sum_{e=1}^h \delta^e(t)r^e(t) \right) \rightarrow \max;$$

$$\bar{Q}_{III} = \sqrt{\sum_{e=1}^h (\delta^e(t)r^e(t))^2} \rightarrow \max, \tag{6}$$

де δ^e – вагові коефіцієнти, що встановлюються за умов нерівноцінності виробництва (споживання) окремих продуктів за програмою за різні періоди її виконання.

В межах проведеної формалізації задачі програмно-цільового управління бюджетними ресурсами регіональних програм підвищення 3-Е ефективності систем КТЕ враховуються економічні показники використання фондів капітальних вкладень учасників програми, що пропорційні розмірам отриманих ними інвестиційних ресурсів, досягнутих за програмою обсягів енергозбереження і покращення якісних та екологічних показників продукції і наданих послуг, із застосуванням функцій економічного стимулювання (штрафів і винагород) та управління розподіленням ресурсів в залежності від способу використання цих фондів.

5. 4. Оптимальне управління за сценаріями максимізації прибутку та мінімізації втрат ПЕР і обсягів викидів CO₂

Рішення задачі оптимального управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ за виразами (1)–(6) складається з послідовного розв'язання ряду взаємоузгоджених задач (7), (8) оптимізації структури і параметрів системи на регіональному рівні та на рівні підсистем (підприємств КТЕ та споживачів) з подальшим узгодженням можливих розбіжностей шляхом проведення ітераційних процедур, а саме:

а) на регіональному рівні

$$Q^{S_0} \rightarrow \max, \quad (Q^{S_0} - \sum_{i=1}^I Q^{S_i}) \rightarrow \min; \tag{7}$$

б) на рівні підсистем

$$\begin{cases} Q^{S_1} \rightarrow \max; & (Q^{S_0} - Q^{S_1}) \rightarrow \min; \\ Q^{S_2} \rightarrow \max; & (Q^{S_0} - Q^{S_2}) \rightarrow \min; \\ \dots & \dots \\ Q^{S_i} \rightarrow \max; & (Q^{S_0} - Q^{S_i}) \rightarrow \min, \end{cases} \tag{8}$$

де Q^{S_0} – глобальна цільова функція системи КТЕ, Q^{S_i} – її складові для i-х підсистем; Q^{S_i} – цільові функції i-х підсистем.

За розробленими теоретичними положеннями створено модель та проведено багатоваріантні розра-

хунки параметрів функціонування системи КТЕ, що складається з трьох підсистем S1, S2 та S3, частина результатів яких представлена на рис. 3, 4.

Результати порівняння обсягів прибутку по системі КТЕ у цілому та окремо по кожній з її підсистем, досягнутих за різними сценаріями оптимального управління системою КТЕ, а саме – сценаріями максимізації прибутку, мінімізації втрат ПЕР та мінімізації викидів CO₂, а також за базовим сценарієм функціонування системи (до реалізації оптимального управління), представлені на рис. 3.

Проведено розрахунки підвищення 3-Е ефективності системи КТЕ, що складається з вугільних котельень, котельень на природному газі, електричних котельень та когенераційних установок на природному газі і біодизельному пальному з загальною встановленою потужністю теплогенеруючого обладнання 13 МВт. Результати управління котельнею на природному газі за рахунок оптимального розподілення навантаження котлів наведено на рис. 4.

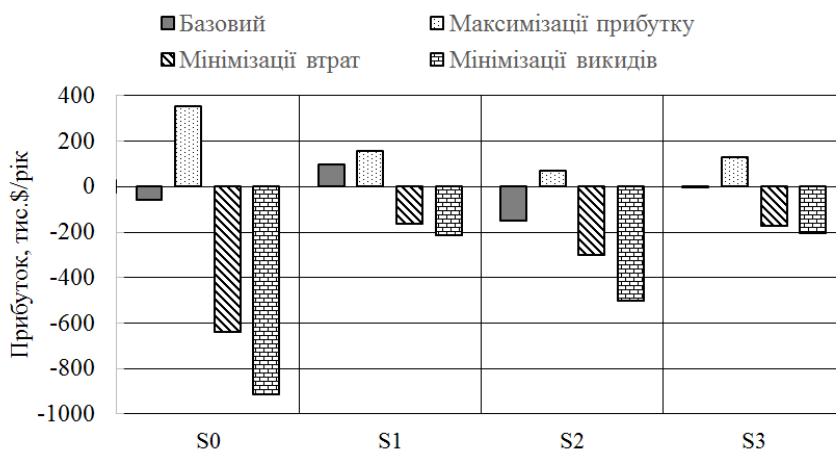


Рис. 3. Порівняльний аналіз обсягів прибутку за різними сценаріями оптимального управління

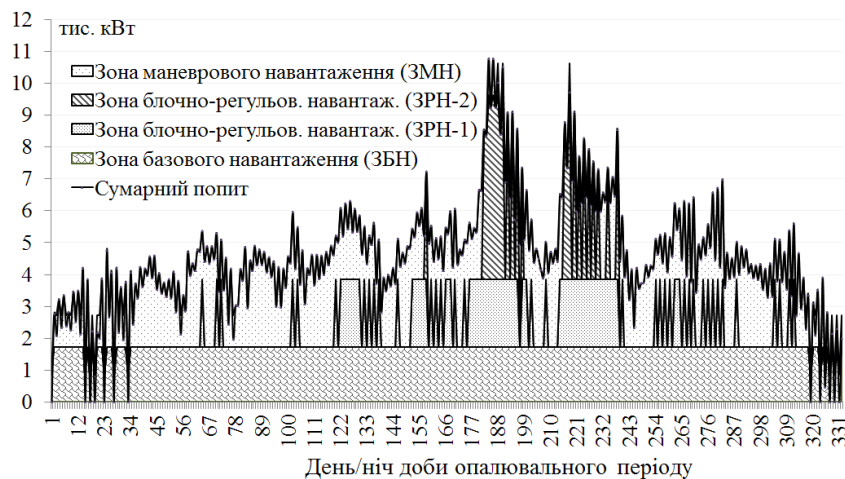


Рис. 4. Зони оптимального розподілення навантаження котлів за опалувальний період у чотирьох зонному режимі роботи котельні

Розглянуто варіант використання у роботі чотирьох котлів з ККД брутто 0,960. У порівнянні з базовим режимом, втрати за опалувальний період зменшилися на 2,28 тис. Гкал (12,5 %), що за ціною на теплову енергію 48,50 \$/Гкал приносить щорічну еко-

номію у 110,4 тис. \$ та зниження обсягів викидів CO₂ на 0,60 тис. тон при середньогодиному ККД брунто котельні 0,937.

6. Обговорення результатів дослідження впливу оптимального управління на підвищення 3-Е ефективності системи КТЕ

Як можна бачити, розглянутий метод спрямований на комплексне вирішення проблеми підвищення 3-Е ефективності управління складними системами КТЕ за рахунок створення багаторівневої організаційної структури оптимального управління, яка охоплює регіональний (місцевий) рівень взаємодії підприємств, механізми програмно-цільового управління залученням та розподіленням інвестицій, оптимального вибору структури задіяного теплоенергуючого обладнання тощо.

Порівняльний аналіз результатів оптимального управління за сценаріями максимізації прибутку та мінімізації втрат ПЕР і викидів CO₂ показує, що в умовах існуючої матеріально-технічної бази можливо підвищувати економічну ефективність (прибутковість) системи засобами організаційно-технологічного управління, але ж це призводить до погіршення енергетичних та екологічних показників її функціонування, що підтверджує необхідність пошуку компромісного рішення в задачі підвищення 3-Е ефективності функціонування систем КТЕ. Так, результати розрахунків за сценарієм максимізації прибутку показують, що втрати ПЕР у підсистемі S1 збільшуються на 1,0 %, у підсистемі S2 – на 3,8 %, а у підсистемі S3 – на 2,4 %. Що стосується обсягів викидів CO₂, то вони також зростають по відношенню до базового сценарію на 26,5 %. У той же час система КТЕ із збиткової (збиток у базовому режимі складає –57,80 тис. \$/рік) за сценарієм максимізації прибутку системи стає прибутковою (прибуток 355,17 тис. \$/рік).

Серед наукових результатів застосування пропонованого методу управління слід відмітити можливість розв'язання задачі координування взаємодії підсистем багаторівневої системи КТЕ з урахуванням альтернативних способів і засобів реалізації стратегій управління, що підтверджується результатами проведених розрахунків за сценаріями максимізації прибутку та мінімізації втрат ПЕР і викидів CO₂, а за умов його використання у програмно-цільовому управлінні регіональними програмами енергозбереження – можливість

підвищення ефективності реалізації цих програм за визначеними формулами (6) цільовими функціоналами.

До недоліків теоретико-множинного підходу до підвищення ефективності організаційно-технологічного управління, що розглядається в даній роботі слід віднести так званий ефект «прокляття розмірності», який проявляється у випадках відображення декартових добутків вхідних і вихідних змінних та змінних прямих і зворотних зв'язків багаторівневої системи КТЕ на площину табличного процесору.

7. Висновки

1. Визначено основні складові методу оптимального управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ, що охоплюють базові аспекти теоретико-множинного підходу до формалізації процедур багаторівневого організаційно-технологічного управління, формалізацію рівнянь, які описують поведінку системи, та визначення цільових функцій управління такого роду системами.

2. Запропоновано застосування логіко-математичних функцій ЕСЛИ (IF), И (AND), ИЛИ (OR), НЕ (NOT) у процесі відображення систем рівнянь, які описують поведінку системи, на площину табличного процесору, що дозволило природним чином враховувати організаційні та техніко-технологічні впливи на енергетичні, економічні та екологічні аспекти функціонування систем КТЕ.

3. Шляхом мінімізації відхилень параметрів рішення локальних задач оптимізації, які розв'язують нижче розташовані підсистеми, від параметрів рішення глобальної (загальносистемної) задачі оптимального управління, формалізовано алгоритм координування взаємодії елементів (підсистем) складних систем багаторівневого організаційно-технологічного управління підвищенням 3-Е ефективності систем КТЕ.

У цілому, проведені у роботі дослідження дозволили розробити метод організаційно-технологічного управління системами комунальної теплоенергетики, який базується на теоретико-множинному підході до управління багаторівневими системами, застосуванні процедур координування міжрівневої взаємодії їх підсистем та використанні логіко-математичних функцій для комплексного урахування організаційних та техніко-технологічних аспектів управління такого роду системами, що забезпечує підвищення ефективності функціонування систем КТЕ на 20–40 %.

Література

1. Долінський, А. А. Комунальна теплоенергетика України: Стан, проблеми, шляхи модернізації: в 2 томах. Т. 1 [Текст] / А. А. Долінський, Б. І. Басок, Є. Т. Базеєв, І. А. Піроженко. – К.: Поліграф-Сервіс, 2007. – 394 с.
2. Fekete, C. Central and Eastern European District Heating Outlook [Text] / C. Fekete. – Budapest: KPMG Energy & Utilities Centre, 2009. – 104 p.
3. Davies, G., The Potential and Costs of District Heating Networks [Text] / G. Davies, P.Woods. – Oxford: Poyry Energy, 2009. – 152 p.
4. Persson, U. Heat Roadmap Europe: Identifying Strategic Heat Synergy Regions [Text] / U. Persson, B. Mollerb, S. Werner // Energy Policy – 2014. – Vol. 74. – P. 663–681. doi: 10.1016/j.enpol.2014.07.015
5. Grohnheit, P. E. Competition in the Market for Space Heating. District Heating as the Infrastructure for Competition Among Fuels and Technologies [Text] / P. E. Grohnheit, B. O. Gram Mortensen // Energy Policy – 2003. – Vol. 31, Issue 9. – P. 817–826. doi: 10.1016/s0301-4215(02)00066-6

6. Mesarovich, M. D. Theory of Hierarchical Multilevel Systems [Text] / M. D. Mesarovich, D. Macko, Y. Takahara. – New York: Academic Press, 1970. – 294 p.
7. Губко, М. В. Математические модели оптимизации иерархических структур [Text] / М. В. Губко – М.: ЛЕНАНД, 2006. – 264 с.
8. Choe, C. On the Optimality of Multi-tier Hierarchies: Coordination versus Motivation [Text] / C. Choe, S. Ishiguro // Journal of Law, Economics, and Organization. – 2012. – Vol. 28, Issue 3. – P. 486–517. doi: 10.1093/jleo/ewr022
9. Ковалко, О. М. Теоретико-множинна модель багаторівневої системи організаційно-технологічного управління енерговикористанням у системах з ієрархічною структурою [Текст] / О. М. Ковалко, Т. О. Євтухова // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2010. – № 2. – С. 42–49.
10. Дуэль, М. А. Декомпозиция иерархических многоуровневых систем управления сложными энергообъектами [Текст] / М. А. Дуэль, А. В. Приходько // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – Т. 6, № 3 (54). – С. 49–55. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2240/2044>
11. Євтухова, Т. О. Модель управління підвищенням 3-Е ефективності систем комунальної теплоенергетики [Текст] / Т. О. Євтухова // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – Вип. 5 (49). – С. 38–43.

Досліджується можливість оптимізації режиму роботи однофазної системи електропостачання на візуальній моделі з використанням пошукової оптимізації. Оптимізація режиму забезпечується активним фільтром, що представляє собою полумостовий інвертор, керування ключами якого виконується широтно-імпульсною модуляцією. В результаті пошукової оптимізації реактивна потужність в системі була повністю скомпенсована, що зменшило величину мережевого струму до можливого мінімального значення

Ключові слова: система електропостачання, силовий активний фільтр, реактивна потужність, пошукова оптимізація

Исследуется возможность оптимизации режима работы однофазной системы электроснабжения на визуальной модели с использованием поисковой оптимизации. Оптимизация режима обеспечивается активным фильтром, представляющим собой полумостовой инвертор, управление ключами которого выполняется широтно-импульсной модуляцией. В результате поисковой оптимизации реактивная мощность в системе была полностью скомпенсирована, что уменьшило величину сетевого тока до возможного минимального значения

Ключевые слова: система электроснабжения, силовой активный фильтр, реактивная мощность, поисковая оптимизация

УДК 621.314.25

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59538

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С АКТИВНЫМ ФИЛЬТРОМ, УПРАВЛЯЕМЫМ ПО ОПТИМИЗА- ЦИОННОМУ АЛГОРИТМУ

Е. В. Ягуп

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра автоматизированных систем
электрического транспорта
Украинский государственный университет
железнодорожного транспорта
пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина, 61050
E-mail: yag.kate@rambler.ru

1. Введение

В сетях электроснабжения обычно преобладает активно-индуктивная нагрузка из-за подключения к сети таких потребителей, как асинхронные электрические машины, вентиляционные преобразователи, электромагнитное оборудование, индукционные печи, осветительные приборы [1–3]. Наличие индуктивной составляющей в нагрузке является негативным явлением, так как приводит к сдвигу фаз тока относительно питающего напряжения и появлению реактивной

мощности. Это вызывает излишние активные потери, на покрытие которых расходуются дополнительные ресурсы на электростанциях [2, 3]. Перечисленные факторы негативно влияют на качество электрической энергии и на работу ее потребителей. Также важным является снижение амплитудного значения тока в сети, для предотвращения перегрева проводов и их изношенности. Для уменьшения перегрузок оборудования и повышения коэффициента мощности в системе осуществляется компенсация реактивной мощности.