УДК 62-5:620.4
DOI https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-1/27

Максимов М.В.
Державний університет «Одеська політехніка»

Максимова О.Б.
Інститут військово-морських сил
Національного університету «Одеська морська академія»

Мінчев Д.С.
Державний університет «Одеська політехніка»

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

У роботі досліджуються методи та моделі пошуку рішення за встановленим критерієм для управління системою теплопостачання міських районів за рахунок цільової зміни структури об'єкта управління. По-перше, була сформульована задача оптимізації для управління системою теплопостачання міських районів, по-друге, розроблено вирішальне правило щодо зміни структури за ціною енергетичних потоків і, по-третє, розроблено методи функціонування системи управління.

У роботі показано, що система управління теплопостачанням для кожного споживача, заснована на прийнятих критеріях якості, формує локальні цільові функції. Це дає змогу вибирати таку структуру об'єкта управління, за якої буде виконуватися умова $f_j\left(w_{ij}(\tau)\right) \to \min$.

Критеріями цільової функції вибрані: вартість ресурсів, ефективність обладнання і його надійність. Багатокритеріальна задача оптимізації зведена до однокритеріальної за рахунок приведення складників до грошових одиниць. Оптимізація полягає в пошуку найдешевшого джерела або групи джерел.

Дослідження показали, що цільову функцію можна представити у вигляді суми двох складових частин: адитивної, що залежить тільки від часу, і мультиплікативної. Адитивна частина цільової функції є сумою всіх витрат, що не залежать від потужності джерела. Вона складається з капітальних витрат на спорудження. Мультиплікативна частина цільової функції включає витрати на компенсацію теплових і фізичних втрат у теплових мережах і компенсацію зміни надійності $R(t,\Delta t)$.

У роботі наведений алгоритм пошуку найкращої структури технічних засобів об'єкта управління, який покладено в основу методу управління структурою складної системи теплопостачання, без обмежень на ресурси.

Для управління структурою системи теплопостачання в умовах обмежень на ресурси і збурень розвинуто метод, який полягає в тому, що рішення задачі управління теплопостачанням на кожному кроці моделювання забезпечується безліччю джерел теплової енергії, які, в свою чергу, забезпечують мінімальне значення цільової функції, що дозволило отримати високу ефективність.

Ключові слова: *цільова функція, рішення задачі оптимізації, алгоритм пошуку структури, рішення задачі управління, міський район.*

Постановка проблеми. У сучасному великому місті України з переходом на ринкові ціни на енергоносії росте рівень вимог до функціональних характеристик комп'ютерно-інтегрованих систем управління, які забезпечують управління технічними засобами теплопостачання [1, с. 13; 2, с. 51].

Сучасні технології комп'ютерного управління роблять можливим підключення технічних засобів теплопостачання з тих, які працюють у системі, з мінімальними поточними витратами фінансових ресурсів за зміни середовища їх використання з відсутністю або мінімізацією втручання оператора під час функціонування.

Сьогодні рівень розвитку теорії адаптивних систем і методів управління, а також теорії оптимального управління дають змогу вирішити завдання управління структурою взаємозамінного обладнання системи теплопостачання, яке забезпечить пошук мінімальних витрат ресурсів. При цьому апріорно розуміється, що кожна одиниця устаткування, яка управляється з параметрами, працює в оптимальному режимі [2, с. 55; 3, с. 100; 4 с. 146].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В останні десятиліття активно розвиваються системи з цілеспрямовано змінною структурою у сфері промисловості і теплоенергетики. Слід зазначити низку робіт з управління структурою об'єкта. У [5, с. 151] пропонується комплекс методів для управління об'єктами із цілеспрямовано змінною структурою на прикладі гірничо-збагачувальної фабрики. У роботі [6, с. 112] пропонуються моделі і методи комплексного управління технологічними процесами поточних виробництв на прикладі нафтопереробного заводу.

Головна перевага згаданих робіт у тому, що в них розроблені методи і моделі, які дозволяють шляхом зміни структури об'єкта управління забезпечити безперервність технологічного процесу і, як наслідок, підтримати технологічні параметри процесу на заданому рівні.

У роботі [7, с. 212] розглянуто керування процесом теплопостачання окремого котеджу з використанням альтернативних джерел теплової енергії.

У роботі [8, с. 182] наведено рішення задачі оптимізації процесу теплопостачання окремого котеджу. Обґрунтовано необхідність комплексного оцінювання стану системи теплопостачання за чотирма критеріями: якість забезпечення заданої температури, вартість витрачених ресурсів, ефективність і надійність використовуваного обладнання. Для вирішення завдання були використані методи цільового програмування та генетичні алгоритми.

Основна складність під час управління структурою об'єкта управління полягає в тому, що зовнішні впливові фактори, як правило, носять імовірнісний характер. Як показали дослідження в [2, с. 58], можна спробувати змоделювати вірогідну природу шуканих параметрів системи і спланувати роботу обладнання. На жаль, методи вирішення задач прогнозування досить складні з обчислювального погляду. Ця складність зростає зі збільшенням інтервалу прогнозування та кількості одиниць обладнання, що використовується.

Постановка завдання. Метою статті є синтез та обґрунтування методів і моделей пошуку найкращого рішення для управління системою теплопостачання міста за рахунок цільової зміни структури об'єкта управління.

Досягнення мети здійснюється розробленням таких завдань:

– постановка задачі оптимізації для управління системою теплопостачання міста за рахунок цільової зміни структури об'єкта;

– визначення вирішального правила щодо зміни структури ціни на енергетичні потоки;

– розроблення методів функціонування системи управління теплопостачання міста.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо задачу оптимізації для управління системою теплопостачання міста за рахунок цільової зміни структури об'єкта. Кожен споживач може отримувати теплову енергію від більш ніж одного джерела. Джерела, що підключені до споживача, можуть функціонувати одночасно. Факт підключення i-го джерела до j-го споживача визначається наявністю зв'язку $w_{ij}=1$ (рис. 1). При відключенні джерела відповідний зв'язок w_{ij} приймає значення 0.

У довільний момент часу кожен споживач може підключитися до будь-якого джерела або їх комбінації. Також кожен споживач на свій розсуд може змінювати задані значення температури, що підтримується в приміщеннях [3, с. 99; 4, с. 136].

Приймемо, що структурна оптимізація системи теплопостачання споживача буде мати на меті мінімізацію цільової функції. Тоді завдання оптимізації можна сформулювати таким чином: у кожен момент часу τ вибирати такі функції $w_{ij}(\tau)$, що:

$$f_j\left(w_{ij}(\tau)\right)\to min \text{, при } K_{jk}(\tau)\le K_{jkmax}.$$

Умова $K_{jk}(\tau)\le K_{jkmax}$ означає, що неможна нескінченно покращувати один критерій за рахунок погіршення іншого. Кожен критерій має максимально допустиме значення. Позначивши вартісну складову цільової функції через $S(\tau)$ та надійності з $R(\tau)$, отримаємо цільову функцію для вирішення задачі оптимізації:

$$f_j\left(w_{ij}(\tau)\right)=S(\tau)+R(\tau)\to min$$

Всі складові частини виражені в грошових одиницях, отже, пошук оптимального рішення зводиться до вибору в кожен момент часу найдешевшого джерела теплової енергії (див. рис. 1). У разі, якщо його недостатньо для забезпечення заданої температури, з решти вибирається наступне джерело з мінімальною вартістю енергії, що генерується [9, с. 456, 10, с. 232].

Розрахунок вартісного складника $S(\tau)$ цільової функції здійснювався за виразом:

$$S(\tau)=\frac{(C_e+C_{ia}+C_s)\Delta\tau}{N_cT}+\frac{C\ \Delta\tau}{N_cT_{om}}+C_r^i\left(\tau,G_c^i\right)\frac{3600000}{R_i\eta_i}+\Delta S$$

$$\Delta S=\frac{\sum_j C_r^j\left(\tau,G_c^j\right)G_r^j\Delta\tau}{N_c}$$

де R_i – питома енергоємність i-го енергоресурсу, для палива це питома теплота згоряння, для електрики $R_i=1$;

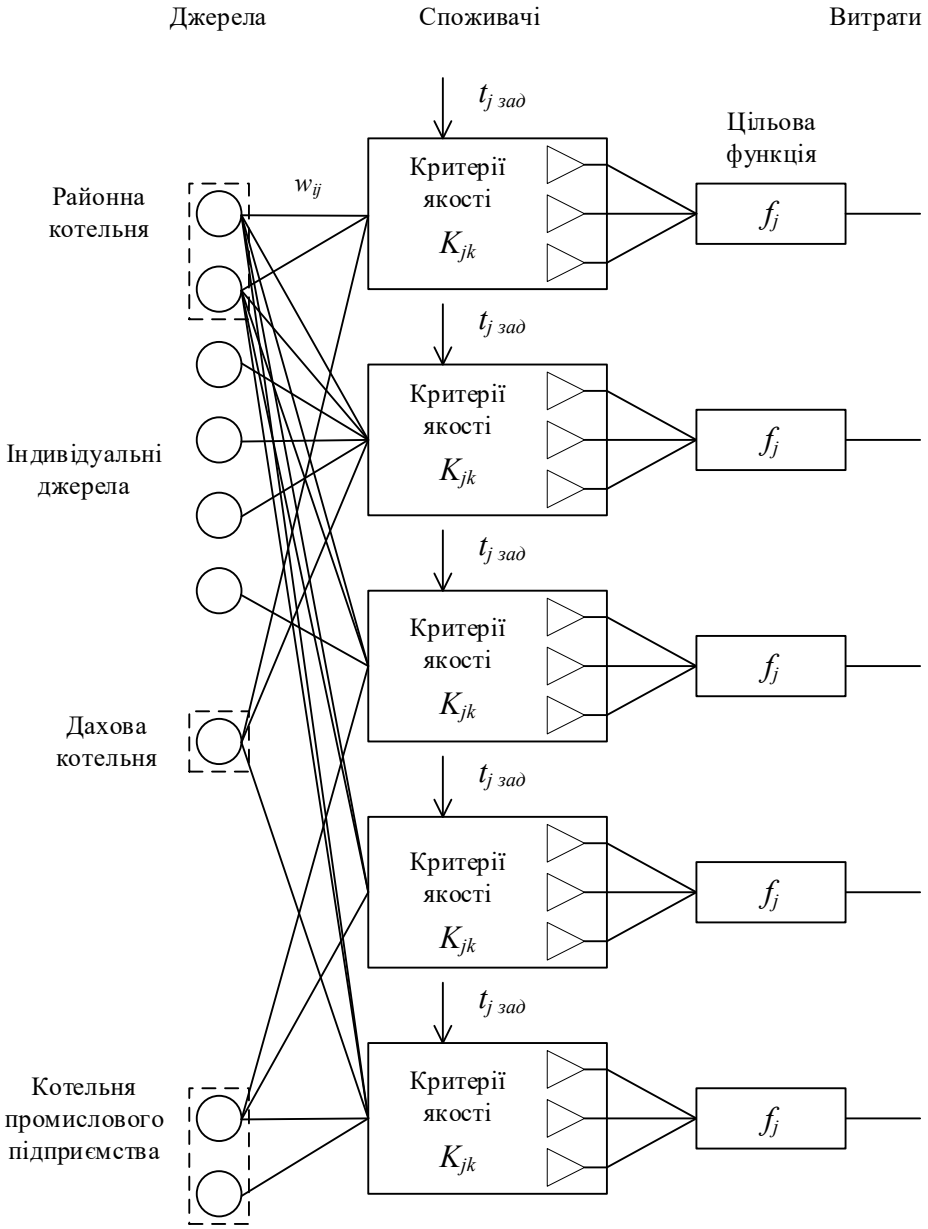

Рис. 1. Приклад структури розподіленої системи теплопостачання міського району

ΔS – вартість додаткових витрат ресурсів для забезпечення процесу і компенсації втрат, грн; T – ресурс системи, с; $\Delta\tau$ – інтервал моделювання або інтервал, на якому оцінюється робота системи, с; C_e – вартість обладнання, грн; C_{ia} – вартість монтажу та наладки, грн; C_s – вартість обслуговування системи за період часу T, грн; C – інші витрати за період $T_{от}$, грн; G_c^i – кількість вже спожитого i-го ресурсу за звітний період $T_{от}$ (місяць), в залежності від типу джерела може змінюватися в кг, м^3, кВтгод; $C_r^i\left(\tau, G_c^i\right)$ – поточна ціна i-го ресурсу, що залежить як від часу доби, так і від кількості вже спожитого енергоресурсу, залежно від типу джерела може вимірюватися грн/кг, грн/Дж, грн/кВтгод, грн/м^3; G_r^i – поточна витрата i-го ресурсу за звітний період $T_{от}$ (місяць); N_c – кількість підключених споживачів; $N_\Sigma^{потр}$ – сумарна потужність теплових втрат споживачів, Вт; $N_\Sigma^{ист}$ – сумарна потужність теплогенеруючого обладнання.

Для вираження в грошовому еквіваленті характеристики надійності були використані методи з розрахунку тарифних ставок масових ризикових видів страхування [9; 10; 11; 12].

$$T_0 = p\frac{\bar{Q}}{\bar{S}_n} = \left(1 - P(\tau)\right)\frac{\bar{Q}}{\bar{S}_n} \quad (1)$$

$$T_p = 1.2T_0\alpha(\gamma)\sqrt{\frac{1-p}{np}} = 1.2T_0\alpha(\gamma)\sqrt{\frac{P(\tau)}{n\left(1-P(\tau)\right)}} \quad (2)$$

де: $\alpha(\gamma)$ – коефіцієнт, що залежить від гарантії безпеки γ; $\bar{S}_n$ – середня страхова сума за одним договором; $\bar{Q}$ – середнє відшкодування за одним договором страхування; N – загальна кількість договорів, укладених за деякий період часу в минулому; M – кількість страхових випадків у N договорах; p – ймовірність настання страхового випадку за одним договором $p = \frac{M}{N}$; n – кількість договорів страхування, віднесених до періоду часу, на який проводиться страхування.

Якщо статистики за величинами p, $\bar{S}_n$, $\bar{Q}$ відсутні, то їх можна оцінювати експертним методом або замінювати значеннями показників аналогів. Так, ймовірність p настання страхового випадку в нашому разі можна замінити величиною, зворотною до надійності джерела теплової енергії $p = 1 - P(\tau)$. Середню страхову суму за одним договором $\bar{S}_n$ орієнтовно можна прийняти рівною капітальним витратам на придбання монтажу і налагодження, віднесеним до кількості споживачів:

$$\bar{S}_n = \frac{C_e + C_{ia}}{n} \tag{3}$$

Слід також враховувати, що кількість договорів страхування не завжди визначається кількістю підключених споживачів N_c. Для випадку з котельнею таке припущення є правомірним, оскільки в разі аварії котельні компенсації повинні бути виплачені всім абонентам. Для індивідуальних джерел тепла рекомендується розглядати обмежену сукупність абонентів, наприклад будинок.

Необхідна грошова оцінка надійності може бути отримана на основі величини Нетто-ставки T_n.

$$T_n = T_0 + T_p \tag{4}$$

де: T_0 – основна частина Нетто ставки; T_p – ризикова надбавка.

Значення Нетто-ставки, яке отримується по (4), є часткою страхової суми. Як останню доцільно брати сумарні капітальні витрати на монтаж і налагодження джерела теплової енергії.

Згідно з діючими методиками розрахунків тарифних ставок, нижня межа співвідношення величин $\bar{Q}$ та $\bar{S}_n$ в (5) приймається в діапазоні від 0,3 для медичного страхування до 0,7 для страхування відповідальності [10]. Було прийнято співвідношення цих величин рівним 0,7.

У загальному випадку складник надійності з урахуванням (1)–(4) визначається виразом:

$$R(\tau) = \left((1 - P(\tau)) 0,7 \left(1 + 1,2\alpha(\gamma) \sqrt{\frac{P(\tau)}{n(1 - P(\tau))}} \right) \right) \times \times \frac{(C_e + C_{ia})\Delta\tau}{\Delta T} \tag{5}$$

Імовірність безвідмовної роботи обладнання $P(\tau)$ пропонується розраховувати за методикою, викладеною в [13, с. 346], згідно з якою надійність обладнання визначається двома видами відмов: випадковими та зносовим, залежить від стану навколишнього середовища і відносної потужності, на якій функціонує обладнання.

Визначимо вирішальне правило щодо зміни структури ціни на енергетичні потоки.

Основні труднощі в розглянутій задачі оптимізації полягають у тому, що управління процесом теплопостачання здійснюється тільки на підставі непрямих впливів і вимірювань, а також характеризується суттєвою інерційністю. Зміна ціни на той чи інший енергетичний потік може дати ефект через годину або навіть добу. Тому головна вимога до вирішення завдання оптимізації полягає в тому, що період керуючих сигналів повинен бути досить великим, щоб можна було оцінити ефект від їх впливу. Визначення величини цього періоду виходить за рамки цієї роботи і має скоріше соціальний характер.

Задача оптимізації була сформульована таким чином: в умовах обмеженості доступних енергетичних потоків необхідно забезпечити таку структуру енергоспоживання, яка забезпечить процес теплопостачання міста протягом максимально можливого часу.

Єдиним доступним аргументом для управління процесом теплоспоживання в масштабах міста є ціна на енергоресурси. Збільшення або зменшення ціни на газ і електроенергію приведе до зміни собівартості теплової енергії та, у свою чергу, до зміни структури локальних систем теплопостачання кожного споживача.

Рівномірне підвищення цін на всі енергоресурси загалом призведе до подорожчання теплової енергії і, як наслідок, до потенційного зниження заданої температури у низки споживачів. Це дозволить знизити витрату енергоресурсів за рахунок вимушеного зниження споживачами якості теплопостачання.

З іншого боку, зміна співвідношення цін на газ і електроенергію дасть змогу змінювати структуру енергоспоживання за збереження сумарних надходжень до бюджету.

Основним критерієм під час вирішення задачі оптимізації слід прийняти час функціонування $\tau_{функ}$ міських систем теплопостачання при поточній витраті енергоресурсів G_i та їх доступному ліміті M_i.

$$\tau_{функ} = f\left(G_1, G_2, ..., M_1, M_2, ...\right)$$

Очевидним є те, що при $M_i = const$ функція $\tau_{функ} = f\left(G_1, G_2, ..., M_1, M_2, ...\right)$ не має оптимуму і лінійно зростає зі зменшенням витрат G_i, а після використання доступної кількості енергоресурсів система перестає існувати.

Якщо ж прийняти, що доступна кількість енергоресурсів постійно оновлюється з деяким періодом τ_M, то глобальна оптимізація буде досягнена у разі виконання умови:

$$M_i^{ост} - G_i\left(t_m - t\right) - M_i^{нз} \le \delta_i, \qquad (6)$$

де $M_i^{ост}$ – залишок i-го енергоресурсу; $M_i^{нз}$ – недоторканий запас i-го енергоресурсу; δ_i – припустима похибка визначення кількості i-го енергоресурсу.

При цьому слід зазначити, що величина $G_i = f\left(C_r^i\right)$ має вірогідний характер та не піддається точному визначенню.

Таким чином, оптимізація полягає в підтримці балансу між залишками ресурсів $M_i^{ост}$ та швидкістю їх споживання G_i шляхом впливу на ціни енергоресурсів C_r^i.

Розглянемо алгоритми функціонування системи управління теплопостачання міста. Задача оптимізації полягає у виборі в кожен момент часу τ таких зв'язків $w_{ij}\left(\tau\right)$ між джерелами і споживачами, тобто в організації такої структури системи теплопостачання, яка забезпечить мінімум цільової функції f_j для кожного споживача:

$$f_j\left(w_{ij}\left(\tau\right)\right) \to min, \text{ при } K_{jk}\left(\tau\right) \le K_{jkmax}.$$

Задача глобальної оптимізації може бути досягнута при дотриманні балансу між залишковою кількістю ресурсів $M_i^{ост}$ та швидкістю їх витрати G_i (6).

На практиці реалізація системи управління може вимагати синтез досить складної системи правил і умов. Тому необхідно остаточно формалізувати алгоритми системи управління.

При локальній оптимізації в загальному випадку можливо два підходи. Умовно вони визначаються такими двома правилами:

– у кожен момент часу теплопостачання споживача може здійснюватися тільки від одного джерела теплової енергії;

– у кожен момент часу теплопостачання споживача може здійснюватися тільки від безлічі джерел теплової енергії.

Перший варіант на практиці потребує, щоб кожне альтернативне джерело мало можливість повністю забезпечити споживача теплом. Другий підхід такого обмеження не має і є більш універсальним. З іншого боку, другий підхід вимагає внесення в алгоритм управління певних обмежень. Так, наприклад, якщо джерело з меншою вартістю теплової енергії працює не на повну потужність, тоді немає сенсу паралельно підключати ще одне.

У загальному вигляді алгоритм управління системою теплопостачання для вирішення завдання локальної оптимізації наведений на рис. 2.

Слід зазначити, що при дефіциті якого-небудь одного ресурсу відбудеться збільшення вартості цього ресурсу і, в рамках виконання завдання локальної оптимізації, перерозподілиться використання доступних ресурсів автоматично. У цьому разі втручання споживача не потрібно, а зміна структури ціни безпосередньо впливає на швидкість споживання розглянутого ресурсу.

У разі, коли дефіцит поширюється на всі ресурси, потенційно можливо два рішення задачі глобальної оптимізації. Перше має на увазі можливість системи управління безпосередньо змінювати задану температуру в приміщеннях споживачів. Поява дефіциту всіх ресурсів призведе до автоматичного зниження підтримуваної температури, тобто до зниження якості забезпечення заданої температури у споживачів, що безпосередньо спричинить зменшення швидкості витрати ресурсів G_i за рахунок зменшення теплових втрат.

На рис. 3 наведений алгоритм управління, що передбачає можливість керування температурою споживачів. Алгоритм являє собою нескінченну послідовність циклів управління. Враховуючи, що протягом доби потреба в тепловій енергії істотно змінюється, один цикл управління повинен тривати досить довго для того, щоб отримати усереднене значення швидкості споживання ресурсів.

Кожен цикл починається з оцінки залишкової кількості ресурсів на момент часу t_m, коли планується надходження нових запасів ресурсів:

$$D_i = M_i^{ост} - G_i\left(t_m - t\right) - M_i^{нз}$$

Якщо всі залишки від'ємні, тобто спостерігається дефіцит усіх ресурсів, зменшується задана

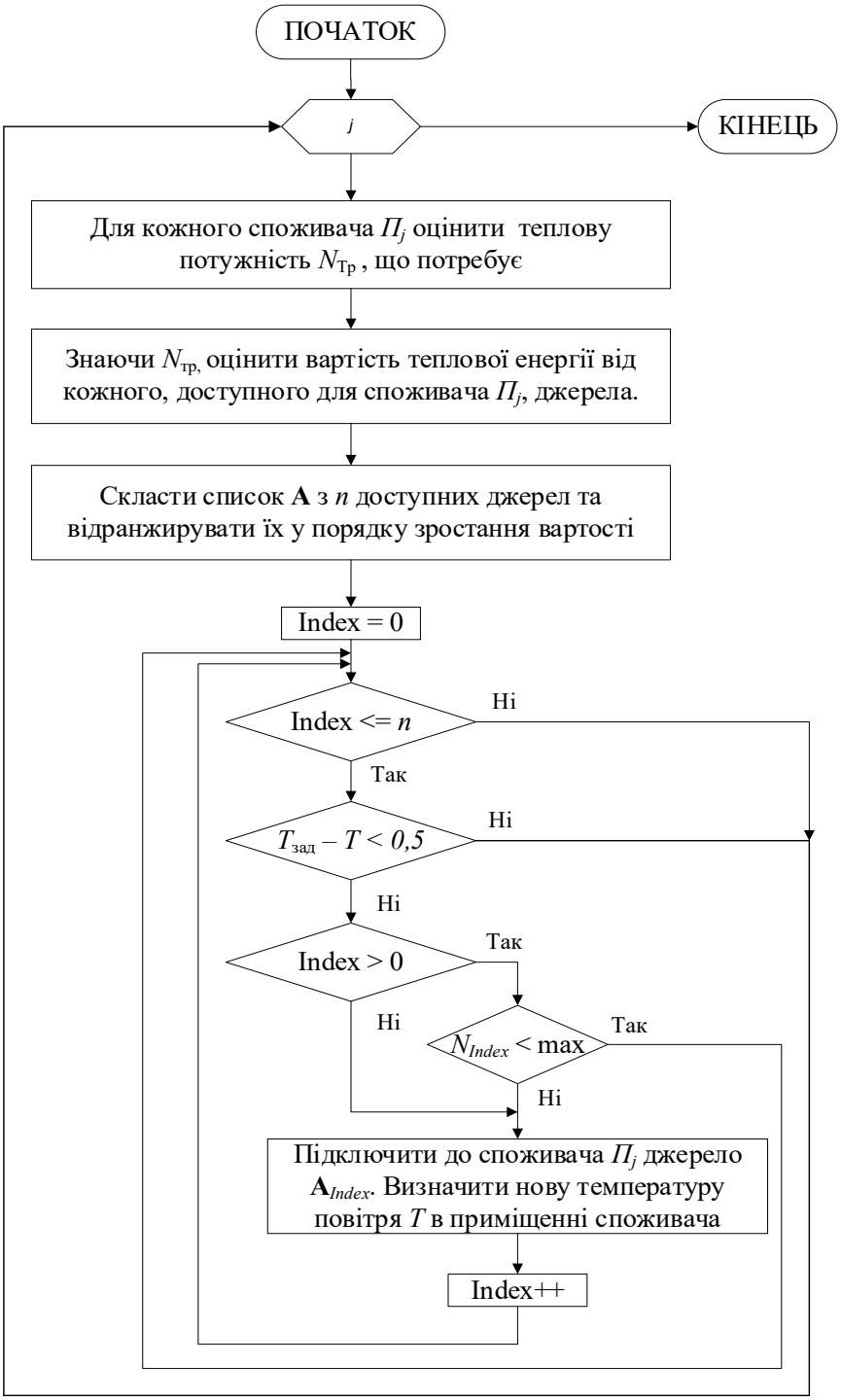

Рис. 2. Узагальнений алгоритм управління для задачі локальної оптимізації

температура споживачів і далі застосовується алгоритм локальної оптимізації (рис. 2).

Якщо всі залишки додатні, то вартість ресурсів по можливості зменшується до номінального значення, а підтримувана температура відповідно збільшується до номіналу.

Другий варіант управління заснований на припущенні про те, що система управління не може безпосередньо впливати на задані температури у споживачів. У цьому разі автоматизація управління в задачі глобальної оптимізації може бути виконана лише до певної міри. Чіткої залежності $G_i = f\left(C_r^i\right)$ між вартістю ресурсів і швидкістю їх споживання не існує. Це випадкова величина, повністю залежна від людського фактору. Можна лише сподіватися, що з підвищенням

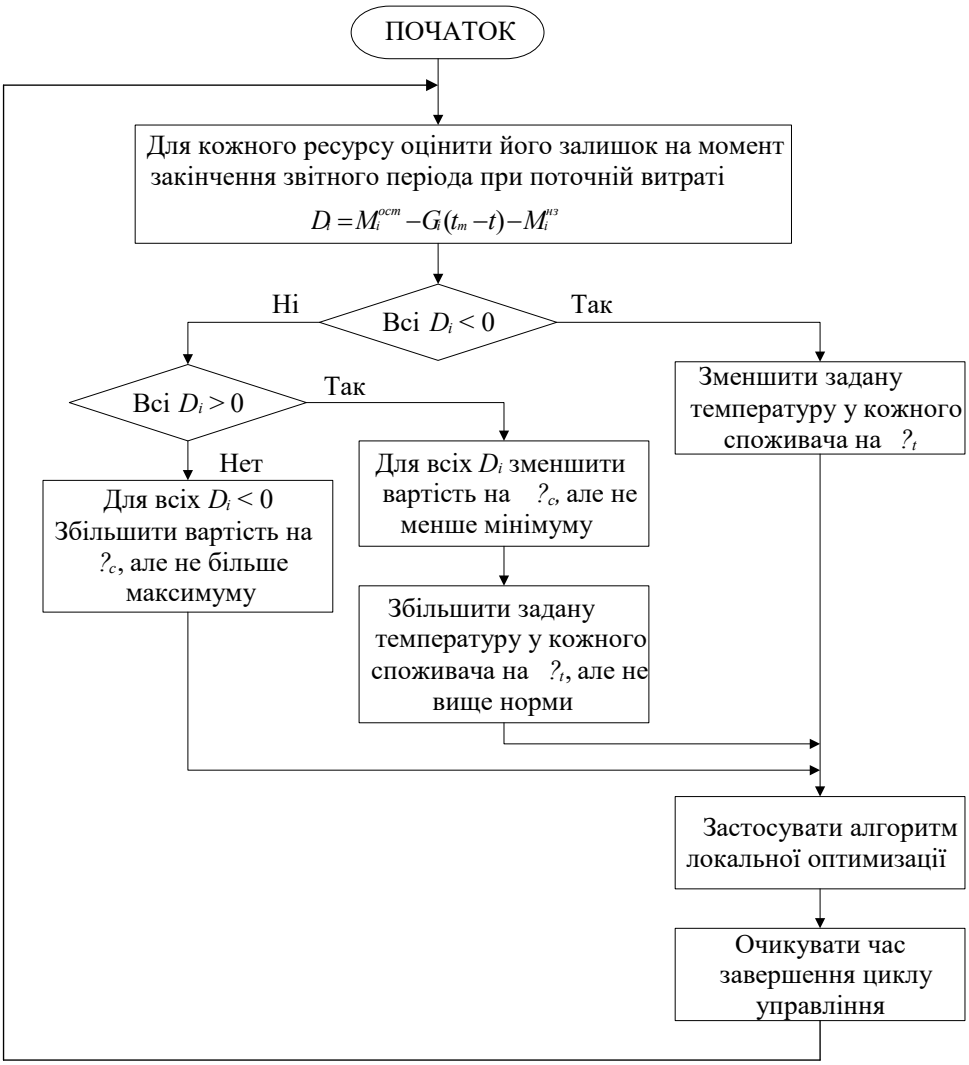

Рис. 3. Алгоритм управління для випадку зміни заданої температури споживачів

вартості того чи іншого ресурсу споживачі будуть обмежувати його використання. Відповідний алгоритм представлений на рис. 4.

Слід окремо зазначити граничні значення цін і температур. Зрозуміло, що нескінченно збільшувати або зменшувати ці величини не можна. З іншого боку, визначення їх конкретних значень виходить за межі цього дослідження, оскільки це питання скоріше зі сфери соціології і політики. На рис. 5 наведена узагальнена структурна схема системи управління теплопостачанням міста.

Розглянемо роботу системи з погляду розроблених раніше алгоритмів управління. Під час вирішення локального завдання оптимізації один цикл управління полягає в такому. До блоку аналізу ціни надходить інформація від приладів обліку джерел і споживачів, а також дані моделі ОУ.

Сформовані для кожного споживача списки джерел теплової енергії, відсортовані в порядку зростання ціни, передаються до блоку управління структурою, який безпосередньо здійснює комутацію відповідних джерел і формує поточну структуру системи теплопостачання. Значення заданих температур повітря і поточних витрат гарячої води від споживачів надходять до блоку аналізу необхідної потужності $N_{треб}$. Після аналізу поточної потреби кожного споживача в тепловій енергії визначаються необхідні потужності всіх джерел, що підключаються в даний момент часу, і через відповідний блок управління $N_{треб}$ керуючі впливи надходять на конкретні джерела.

Функціонуючі в даний момент часу джерела вимагають певних витрат газу і електроенергії, облік яких здійснюється у відповідних приладах обліку джерел. Кількість енергоресурсів, яка

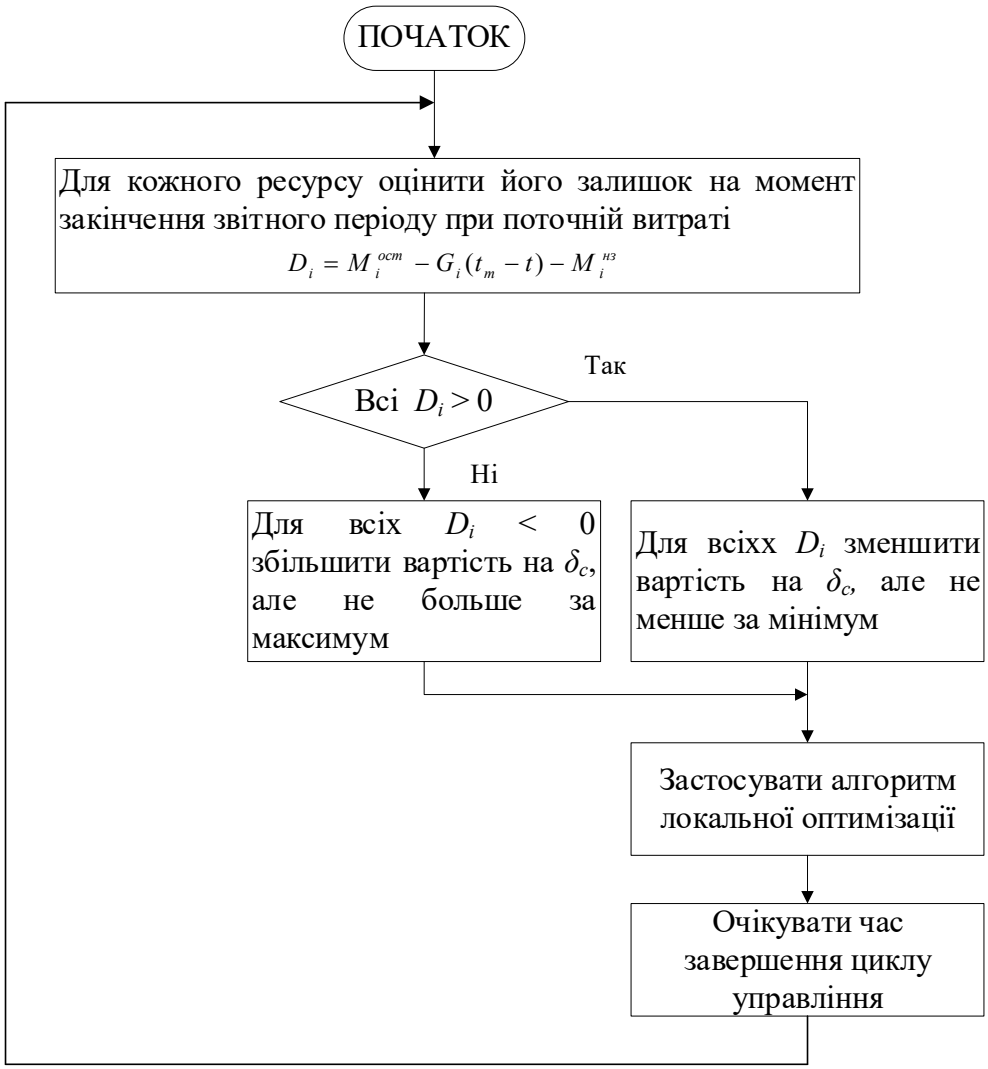

Рис. 4. Алгоритм управління для випадку, коли зміни заданої температури споживачів неможливі

споживаються в даний момент часу, а також вже спожитих, впливає на вартість теплової енергії на наступному циклі управління. На цьому один цикл управління завершується.

Висновки. Критеріями цільової функції були вибрані: вартість ресурсів, ефективність обладнання і його надійність. Багатокритеріальна задача оптимізації була зведена до однокритеріальної за рахунок приведення складників цільової функції до грошових одиниць. Таким чином рішення задачі оптимізації звелося до пошуку групи джерел, що забезпечують мінімальну структуру ціни.

Дослідження показали, що цільову функцію можна представити у вигляді суми двох складових частин: адитивної, що залежить тільки від часу, і мультиплікативної. Адитивна частина цільової функції є сумою всіх витрат, що не залежать від потужності джерела. Вона складається з капітальних витрат на спорудження. Мультиплікативна частина цільової функції включає витрати на компенсацію теплових і фізичних втрат в теплових мережах ΔS і компенсацію зміни надійності $R(t, \Delta t)$.

Представлений алгоритм пошуку найкращої структури технічних засобів об'єкта управління, який покладено в основу методу управління структурою складної системи теплопостачання, без обмежень на ресурси.

Для управління структурою системи теплопостачання в умовах обмежень на ресурси і збурень розвинуто метод, який полягає в тому, що рішення задачі управління теплопостачанням на кожному кроці моделювання забезпечується множиною джерел теплової енергії, які, в свою чергу, забезпечують мінімальне значення цільової функції, що дозволило отримати високу ефективність.

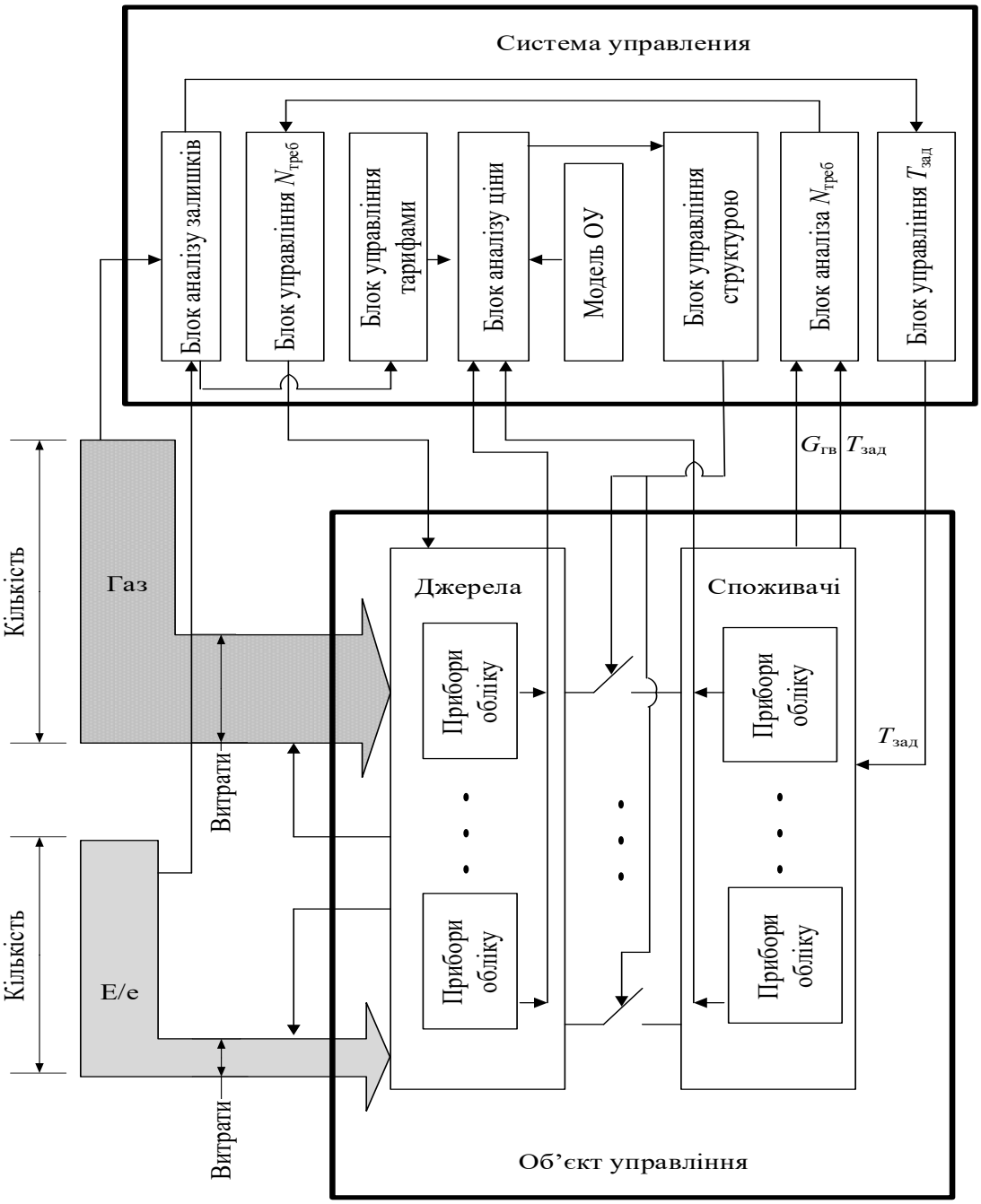

Рис. 5. Структурна схема системи автоматизованого управління теплопостачанням міста

Список літератури:

1. Казаков И.Е., Артемьев В.М. Оптимизация динамических систем случайной структуры. М.: Наука, 1980. 384 с.

2. Максимова О.Б., Давыдов, В.О., Бабич С.В. Управление системой теплоснабжения с изменяемой структурой технических средств. *Проблемы управления и информатики: междун. науч.-техн. журн.* 2014. № 3. С. 50–60.

3. Максимова О.Б., Давыдов В.О. Метод управления структурой технических средств системы теплоснабжения. *Современные технологии управления: в 2 кн.*: монография / под. общ. ред. С. В. Куприенко; SWorld, 2012. [Кн 1]. С. 95 – 108.

4. Babich S.V., Davydov V.O. Objective function for municipal heat supply system's structural optimuzation. *Пр. Одес. нац. політехн. ун-ту*. Одеса, 2015. Вып. 1 (45). С. 134 – 140.

5. Mockler, R.J. Situational Theory of Management. *Harvard Business Review*. 1971. Vol. 49, No 3. P. 151.
6. Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами: некоторые результаты и направления развития. *Автоматика и телемеханика*. 1999. № 6. С. 100–116.
7. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
8. Щекин, Р.В., Березовский В.А., Потапов В.А. Расчет систем центрального отопления. К.: Вища школа, 1975. 215 с.
9. Страхование: учебник / Под ред. Т.А. Федоровой. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Экономистъ, 2004. 875 с.
10. Щербаков В.А., Костяева Е.В. Страхование: учеб. Пособие. М.: КНОРУС, 2007. 312 с.
11. Сплетухов В.А., Дюжиков Е.Ф. Страхование: учеб. Пособие. М.: ИНФА-М, 2006. 312 с.
12. Актуарная математика. Перев. с англ. / Н. Бауэрс, Х. Гербе, Д. Джонс и др.; под. ред Малиновского. М.: Янус-К, 2001. 656 с.
13. Гнеденко Б.В., Беляев Ю. К, Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. М. : Наука, 1965. 524 с.

Maksymov M.V., Maksymova O.B., Minchev D.S. METHODS AND MODELS OF CONTROL SYSTEM WITH VARIABLE STRUCTURE OF HEAT SUPPLY OBJECTS

The paper investigates the methods and models of finding a solution according to the established criteria for the management of the district heating system due to the targeted change in the structure of the control object. First, the optimization problem for the management of the district heating system was formulated, secondly, a decisive rule was developed to change the structure at the price of energy flows and, thirdly, the methods of functioning of the control system were developed.

The paper shows that the heat supply management system for each consumer based on the accepted quality criteria forms local target functions. This allows you to choose the structure of the control object, which will fulfil the condition.

The criteria of the target function are: resource cost, equipment efficiency and reliability. The multi-criteria optimization problem is reduced to a single-criteria one, by reducing the components to monetary units. Optimization is about finding the cheapest source or group of sources.

Studies have shown that the objective function can be represented as the sum of two components: additive, which depends only on time, and multiplicative. The additive part of the objective function is the sum of all costs that do not depend on the power of the source. It consists of capital construction costs. The multiplicative part of the objective function includes the cost of compensation for heat and physical losses in heating networks and compensation for changes in reliability

The paper presents an algorithm for finding the best structure of technical means of the control object, which is the basis of the method of controlling the structure of a complex heat supply system, without restrictions on resources.

To control the structure of the heat supply system in terms of resource constraints and perturbations, a method has been developed, which is that the solution of the heat supply control problem at each step of the simulation is provided by many heat sources, which, in turn, provide a minimum value of the objective function high efficiency.

Key words: *target function, solution of optimization problem, structure search algorithm, solution of control problem, city district.*