УДК 621.317

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ОБЛІКУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Б.М. Микийчук, В.О. Яцук, П.Г. Столярчук

Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, тел. (032)-258-23-94, e-mail: bogdan_lambre@mail.ru

Розглянуто особливості побудови та оптимізації структур інформаційно-вимірювальних систем для індивідуального обліку теплової енергії в багатоквартирних будинках.
Ключові слова: теплова енергія, енерговитрати, автоматизовані системи, індивідуальний облік, багатоквартирний будинок.

Рассмотрены особенности построения и оптимизации структур информационно-измерительных систем для индивидуального учета тепловой энергии в многоквартирных домах.
Ключевые слова: тепловая энергия, энергозатраты, автоматизированные системы, индивидуальный учет, многоквартирный дом.

Features of building structures and optimizing information systems for measuring individual account heat in apartment buildings.
Keywords: thermal energy, energy, computerized systems, individual records, apartment building.

Питома вага теплової енергії в складі всіх енерговитрат в житлово-комунальному господарстві складає від 33 % до 60 % [1, 2]. Згідно статистичних даних [3] в Україні біля 90 тис. багатоквартирних будинків, які мають централізоване гаряче водопостачання та біля 150 тис. багатоквартирних будинків, які мають централізоване опалення. В даний час оснащення споживачів засобами обліку споживання паливно-енергетичних ресурсів становить: тепла - 38 %, газу - 38 %, води - 65,2%. Причому основна маса цих засобів є застарілих типів і є непридатною для автоматизованого збору інформації, що унеможливлює оперативний облік використання енергоресурсів.

Основним напрямком впровадження ідеології енергозбереження у всіх галузях народного господарства є створення автоматизованих систем обліку енергоресурсів на основі сучасних систем збору інформації від первинних засобів обліку, її зберігання та ефективне використання при здійсненні розрахунків за використаний енергоресурс. У зв'язку з цим впровадження енергозберігаючих технологій в умовах прогресуючого дефіциту енергоресурсів висуває підвищені вимоги до систем обліку, а саме: до рівня їх автоматизації, точності, надійності та оперативності обліку.

Автоматизована інформаційно-вимірювальна система (ІВС) комерційного обліку теплової енергії дозволить підвищити точність, оперативність і достовірність обліку тепла, а також в режимі реального часу виявляти відхилення режимів теплопостачання, що дозволить звести до мінімуму відхилення показників якості теплопостачання від встановлених норм.

На сьогоднішній день оптимальною з точки зору мінімізації затрат на її впровадження є ІВС індивідуального обліку споживання теплової енергії мешканцями багатоквартирних будинків, яка складається з теплолічильника, який вимірює сумарні витрати тепла у будинку, та пристроїв контролю споживання по квартирах. Структура такої ІВС наведена на рис.1. Основу такої системи складає підсистема збору інформації з великої кількості давачів, зосереджених по споруді (будинку) і з'єднаних з будинковим контролером за допомогою ліній зв'язку, а також будинковий теплолічильник, який інформаційно з`єднаний з будинковим контролером.

В зв'язку з цим постає питання вирішення таких задач, як:

1) розроблення методики контролю тепловіддачі нагрівальним приладом – саме ця ланка у значній мірі визначає як вартість системи в цілому, так і її надійність та способи побудови систем на її основі;

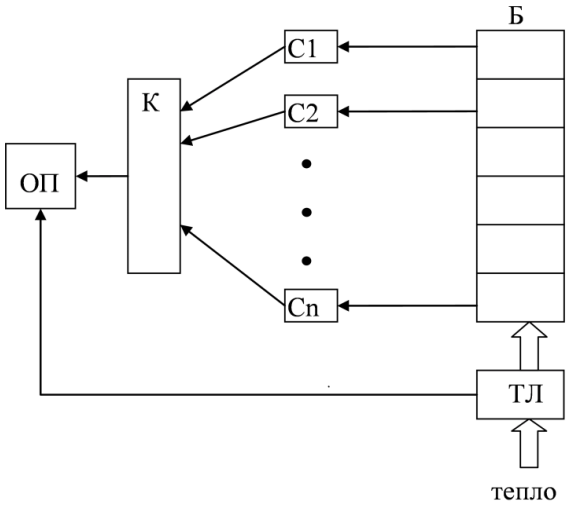
2) оптимізація структури інформаційно-вимірювальної системи теплоспоживання.

Розв'язок першої задачі отримуємо на основі інформаційної моделі нагрівача як об'єкта

контролю [4,5]. Інформаційна модель представляється оператором:

$$\Psi[\, f_q,\, f_\xi, \|R\|, \varphi(q,\xi), T_0, \tau, D, V_0\,], \qquad (1)$$

де f_q – закон розподілу ймовірностей контрольованого параметра - теплового потоку; f_ξ – закон розподілу впливних факторів; $\|R\|$ – матриця кореляційних моментів впливних факторів і контрольованого параметра; $\varphi(q,\xi)$ рівняння перетворення контрольованого параметра у інформаційний сигнал; T_0 – стала часу вимірювального каналу; τ – інтервал часової кореляції контрольованого параметра; D – область контролю; V_0 – елементарний взаємодіючий об'єм.



Б – будинок; ТЛ – теплолічильник; С – сенсори тепловіддачі; К – концентратор; ОП – обчислювальний пристрій

Рисунок 1 – Структура ІВС теплоспоживання

Оскільки теплові процеси у нагрівачі описуються рівняннями теплообміну, то рівняння перетворення φ буде мати вигляд:

$$\varphi = C_D \cdot \mathrm{grad}(t) = C_D C_t q_{np}^{\beta}, \qquad (2)$$

де $\mathrm{grad}(t)$ – перепад температури між поверхнею нагрівача та оточуючим повітрям, C_D – коефіцієнт перетворення контрольованого параметра у цифровий вихідний сигнал, C_t – коефіцієнт перетворення шуканого параметра на $\mathrm{grad}(t)$, β – показник степеня.

У запропонованій ІВС для вимірювання перепаду температур встановлюються сенсори (по два на кожен нагрівач), причому один розташовується на радіаторі опалювальної системи, а інший - на певній відстані Δn від нього. Розмір області контролю $D = S_0 \Delta n$, де S_0 – площа поверхні тепловіддачі приладу. Розмір елементарного взаємодіючого об'єму $V_0 \approx l_з^2 \Delta n$, де $l_з^2$ – інтервал просторової кореляції перепаду температур по поверхні S. Загальна кількість тепла, що передається нагрівачем у приміщення за час T визначається за такою залежністю:

$$Q = \int_T \int_S q(x,y,z)\, dS\, dT\,. \qquad (3)$$

Оскільки для систем теплопостачання $\tau >> T_0$, то інерційністю вимірювального каналу можна знехтувати і інтеграл по dT можна знайти за допомогою інтерполяції.

Проведені експериментальні дослідження розподілення температури t по поверхні S нагрівального пристрою свідчать про те, що $l_з^2 < S_0$, тобто інтегрування по dS не може бути здійснене через інтерполяцію, а розміщення $N = (D/V_0)$ сенсорів по поверхні S економічно невигідне. Тому перший сенсор встановлюється в такій точці опалювального приладу, щоб температура, яка ним вимірюється, відповідала середній по площині усього приладу $t_{ср.пр}$. Ця точка визначається експериментально при аналізі температурного поля кожного виду опалювальних приладів, враховуючи спосіб з'єднання приладу з теплопроводами. Середня температура обчислюється за формулою:

$$t_{ср.пр} = \frac{\int_S t(x,y,z)\, dx\, dy\, dz}{S_0}, \qquad (4)$$

де $t(x,y,z)$ – функція розподілення температури по поверхні S опалювального приладу.

При вирішенні другої задачі до уваги в першу чергу беруться можливості організації на основі сенсорів температури локальної мережі, що охоплює всі нагрівачі будинку. З цієї точки зору сенсори ІВС доцільно виготовляти на основі імпульсних перетворювачів фірми Analog Device [6], вихідними сигналами яких є відношення тривалості імпульсів до тривалості

пауз, або перетворювачі з цифровим виходом фірми Dallas [7]. Останні поруч з хорошими інформаційними характеристиками, малими габаритами, невисокою вартістю дозволяють організувати на основі інтерфейса CAN локальну мережу MicroLine.

Задача оптимізації топологічної структури ІВС КТБ за критерієм мінімізації загальної довжини ліній зв'язку, з'єднувальних елементів системи (комп'ютер, контролери, концентратори, комутатори, сенсори тощо) вирішується на основі теорії графів [8,9].

Структура ІВС КТБ описується графом $G(V,E)$, який представляється сукупністю двох множин: $V\{v_i\}$ – матриця вершин; $E=\{d_{i,j}\}$ – матриця ребер, що з'єднують вершини графа; $i,j=1,...,n$, де n - кількість елементів системи; $d_{i,j}$ - довжина ліній зв'язку між елементами системи *i* та *j*. Така формалізація дозволяє умовно представити систему у вигляді мережі на площині, яка містить лише необхідні дані для мінімізації загальної довжини ліній зв'язку.

Структура мережі, яку отримуємо в результаті застосування формальних методів оптимізації, повинна бути технічно реалізованою. Для реалізації ІВС теплоспоживання можуть використовуватися стандартні інтерфейси і засоби організації мереж передачі даних, які дозволяють організувати такі топологічні структури: радіальну, послідовну, кільцеву, ієрархічну (деревовидну), магістральну та комбіновані. Оптимізація кільцевої структури мережі відповідає задачі комівояжера, в якій необхідно знайти у заданому графі гамільтоновий цикл мінімальної довжини. Для її розв'язання застосовується розроблений Літтлом метод гілок і границь. При послідовній і магістральній структурі мережі задача зводиться до знаходження у заданому графі найкоротшого гамільтонового ланцюга і розв'язується за допомогою алгоритмів Дейкстри та Флойда-Уоршелла. При ієрархічній – до знаходження у заданому графі остового дерева мінімальної довжини, яка розв'язується за допомогою алгоритму Пріма-Краскала. Для радіальної структури мережі задача зводиться до простого розрахунку суми ліній зв'язку, що з'єднують встановлений (фіксований) пункт з іншими.

При кількості елементів ІВС *n* від декількох сотень до декількох тисяч для вирішення такої задачі сучасні комп'ютери через обмежений обсяг пам'яті не дозволяють використовувати точні алгоритми оптимізації. Враховуючи особливості трасування ліній зв'язку у будинку, пропонується методика, яка дозволяє зводити оптимізацію структури ІВС до задач меншої розмірності і які вирішуються за допомогою простих відомих алгоритмів оптимізації. В результаті застосування такої методики синтезована комбінована радіально-магістральна топологія - ІВС (рис. 2).

Алгоритм обробки вимірювальної інформації випливає з рівнянь перетворення (1), (2). Інформація від сенсорів через проміжний концентратор надходить в комп'ютер, де кількість тепла, яке віддає опалювальний прилад у приміщення, оцінюється за формулою:

$$Q_{пр.i}=\int_T K_t\cdot(t_{пр}-t_{пов})^{\alpha}\,dT\,, \qquad (5)$$

де $K_t=C_t^{-1/\beta}$ – коефіцієнт тепловіддачі, $t_{пр}=t_{ср.пр}$ – температура опалювального приладу, $t_{пов}$ – температура повітря приміщення, $\alpha=1/\beta$ – показник степеня.

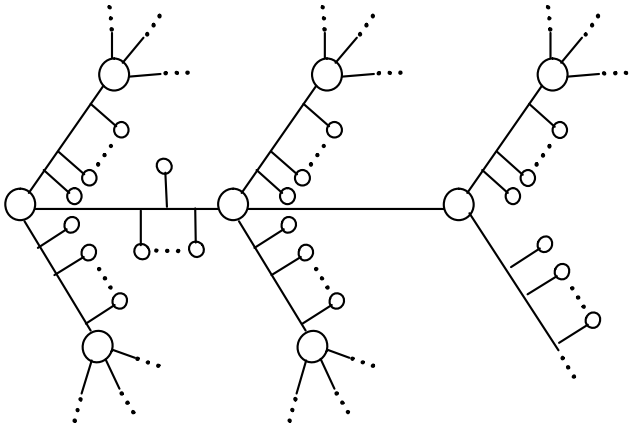


Рисунок 2 – Граф ІВС теплоспоживання багатоквартирного будинку

Параметри K_t та α визначаються при встановленні системи шляхом паспортизації квартир і залежать від типу опалювального приладу, його площі, способу встановлення й розташування приміщення.

Оскільки похибки при визначенні K_t і α не можуть бути зменшені до рівня, що дозволяє використовувати обчислені значення Q для комерційного обліку, до системи вноситься інформаційна надлишковість – кількість тепла $Q'_{пр.i}$, яку віддає опалювальний прилад в приміщення і яка уточнюється на підставі показів загального теплолічильника, які автоматично вводяться в комп'ютер, тобто

$$Q'_{пр.i} = \frac{Q_m \cdot Q_{пр.i}}{\sum_i Q_{пр.i}}, \qquad (6)$$

де Q_m – покази теплолічильника.

Програмне забезпечення персонального комп'ютера, який має керувати роботою всієї системи, повинно дозволяти:

1) автоматично проводити розрахунок тепла, яке споживається, і здійснювати оплату за нього;

2) спостерігати за температурою води в системі опалення і за тепловитратами за вказані проміжки часу по квартирах, стояках, під'їздах;

3) керувати базою вимірювальних даних, яка постійно поповнюється новими даними. Внаслідок цього дані за встановлений попередній період повинні архівуватися. За необхідністю дані мають бути знову поновлені. Вилучення і поновлення даних не повинно впливати на правильності розрахунків;

4) контролювати за роботою опалювальної системи і, зокрема, ІВС, вказуючи на місце неполадок. Причому при виході з ладу деяких елементів система новина продовжувати функціонувати, розраховуючи теоретично їх показники до відновлення;

5) аналізувати коректність даних, виходячи з статистичних даних вимірювань, швидкості зміни даних тощо, щоб забезпечити надійність роботи системи.

Найцікавішим є останнє питання - контроль коректності даних, оскільки несанкціоноване втручання мешканців будинку у роботу сенсорів може призводити до помилок у розподіленні плати за тепло. Алгоритм контролю коректності грунтується на аналізі співвідношення вихідних даних сенсорів, які встановлені на одній гідравлічній системі Якщо результати їх контролю не відповідають теплогідравлічній моделі опалення, то це свідчить про можливий вихід з ладу (випадковий або навмисний) сенсора. Так при нормальному режимі дані сенсорів на одному стояку повинні по ходу протікання теплоносія зменшуватися. При встановленні терморегулятора і частковому зменшені теплоспоживання температура радіатора з регулятором повинна зменшуватися, в той час як температура наступних по ходу руху теплоносія радіаторів повинна збільшуватися. Відхилення від такого правила - зменшення температури одного радіатора без зростання температури наступних, є однією з ознак виходу з ладу сенсора.

Достовірність даних сенсорів температури повітря у приміщенні перевіряється на основі статистичного аналізу. При виявлені групи статистично малоймовірних даних висловлюється припущення про вихід сенсора з ладу.

При правильній побудові алгоритмів аналізу коректності даних вимірювань значно підвищується надійність ІВС теплоспоживання будинку.

ВИСНОВКИ

Запропонована ІВС комерційного обліку теплової енергії дозволить суттєво підвищити точність обліку тепла. Крім цього в режимі реального часу ця ІВС дозволить також виявляти відхилення режимів теплопостачання від встановлених норм і різні несанкціоновані втручання в систему обліку, підвищити надійність роботи систем теплопостачання.

1 Гаманюк Л. Ю. . Оснащення засобами обліку споживання енергоресурсів житлово-комунальної сфери /Л. Ю. Гаманюк -. www.necin.gov.ua. 2 Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. - Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с. 3 Постанова Кабінету міністрів УКРАЇНИ від 25 грудня 2002 р. N 1957 Київ Про продовження терміну виконання Програми поетапного оснащення наявного житлового фонду засобами обліку та регулювання споживання води і теплової енергії до 2007 року. 4 Дубовой В.М. Програмування систем моделювання інформаційних процесів /В.М.Дубовой. - К.: ІСДО, 1994. - 68 с. 5. В.М. Дубовой. Використання термодинамічної аналогії в інформаційно-енергетичній теорії вимірювань /В.М.Дубовой //Вісник ВПІ. -1997. –№4. -С.14-18. 6. Reference Design-in Manual //Analog device Inc. – 1994. – 2000 р. 7. System Extension Data Book // Dallas Semicondactor .– 1996. - 2000 р. 8. Лекции по теории графов / Емилечев В.А. и др. - М.: Наука, 1990. – 384 с. 9. Основы программирования /Бондарев В.А. и др. – Харьков: Фолио, 1997. - 368 с.

Поступила в редакцію 12.05.2010р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. Пістун Є.П.