

Ця похибка може бути доволі істотною і досягати десятків градусів з урахуванням того, що нагрітий об'єкт характеризується високою теплоізоляцією й малими розмірами.

Для її усунення вимірювання виконують із зміною потужності лазера в 2–4 рази (за сталої довжини хвилі), а результати визначаються за допомогою екстраполяції відношення i_s / i_{as} до нульової потужності лазера.

Конструкція устави. Для виконання устави використано спеціалізоване джерело монохроматичного випромінювання – лазер SL03 неперервної дії виробництва фірми «Sios», який має дві робочі довжини хвилі: перша – з довжиною хвилі $423 \pm 0,5$ нм, друга – $682 \pm 0,7$ нм [3]. Приймачем відбитого випромінювання вибрано селективний приймач фірми СП «СОЛАР ТИИ», модель MS35001i, як сенсор використовується ПЗС HS102H–2048/14.

Оскільки вихідний діаметр світлового жмута лазера SL03 становить 0,55 мМ і є співмірним з шириною доріжки мікросхеми, то попередньо оцінено температуру останньої за її товщини 500 нм. За неперервного режиму роботи джерела випромінювання, як показали результати, можна сподіватися підвищення температури на 14 К.

Висновки. Оптимізація метрологічно-точнісних характеристик методу КР вимірювання термодинамічної температури показує можливість оцінення методичної складової похибки за умови коректного добору конструкції устави і врахування цієї складової, що, безумовно, дасть змогу здійснювати температурний контроль як на етапі виготовлення, так і під час експлуатації мікросхем.

1. Сегеда О.В., Яцишин С.П. Вимірювання температури з використанням явища рекомбінаційного розсіювання світла. – Львів: Технічні Вісті, 2008. – С. 121–123.
2. Стадник Б.І., Семерак М.М., Яцишин С.П., Сегеда О.В. Лазерна термометрія у мікротехнологіях. – Черкаси – Гурзуф 2008. – С. 129–132.
3. Голямин І.П. и др. Ультразвук. – М.: Металлургия, 1979. – 328 с.
4. Луцук Я.Т., Буняк Л.К., Рудавський Ю.К., Стадник Б.І. Енциклопедія термометрії. – Львів 2003. – С. 280–285.
5. <http://www.sios.de/DEUTSCH/PRODUKTE/SL03.HTM> (дісна на 13.03.2010)
6. http://www.solartii.com/rus/spectral_instruments/ms350.htm (дісна на 13.03.2010)
7. <http://cultinfo.ru/fulltext/1/001/008/004/807.htm> (дісна на 13.03.2010)

УДК 621.317

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБЛІКУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ІНДИВІДУАЛЬНИМИ СПОЖИВАЧАМИ

© Богдан Микійчук¹, Василь Яцук^{1,2}, 2010

¹Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, вул.С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

²Інститут інформатики Лодзької політехніки, 90-924, Лодзь, вул. Вулчанська, 215, буд. В9

Здійснені аналіз та оцінка методів обліку теплової енергії індивідуальними споживачами. Може використовуватись у новій методиці обліку і розрахунків за спожиту теплову енергію, а також з метою оцінювання якості наданої послуги теплопостачання.

Осуществлен анализ и оценка методов учета тепловой энергии отдельными потребителями. Может использоваться в новой методике учета и расчетов за использованную тепловую энергию, а также при оценке качества услуги теплоснабжения.

Analysis and estimation of methods account of thermal energy by individual users. Can be used in the new method of account and calculations for the used thermal energy, and also with the purpose of evaluation quality of the given favour.

Постановка задачі. На сучасному етапі розвитку України великого значення набуває зменшення енерго-

затратності економіки. Ця проблема особливо загострилася останнім часом у зв'язку із зростанням цін на

енергоносії. Одним з напрямів упровадження державної політики всебічної економії енергоресурсів є застосування пристроїв обліку витрат [1]. Однак для впровадження пристроїв обліку енергоносіїв існує ряд перешкод [1–4]. Причому найгірша ситуація склалася у галузі обліку теплової енергії, оскільки передусім це зумовлено високою ціною пристроїв обліку теплової енергії – до декількох тисяч гривень. Принциповим обмежувальним елементом класичних індивідуальних теплотічильників є необхідність врізування у наявну тепломережу. Враховуючи вертикальну розводку систем опалення в переважній більшості багатоповерхового житлового фонду, за якої в помешканні може бути кількість теплових стояків, яка дорівнює кількості опалюваних кімнат, що під час практичної реалізації системи індивідуального обліку тепла вимагатиме встановлення витратомірів на кожен із стояків або кардинального перероблення системи розведення тепла в будівлі. Обидва ці способи індивідуального обліку в сучасних багатоповерхових будівлях настільки здорожчать систему індивідуального обліку, що узагалі виникають сумніви в доцільності такого переобладнання. І, якщо більшість великих споживачів (підприємства, організації, багатоквартирні будинки) вже встановили пристрої обліку тепла, то для дрібних споживачів (квартири, офіси, орендарі невеликих приміщень) ця проблема майже не вирішена [2, 3]. Крім технічної проблеми індивідуального обліку теплової енергії, існують нормативно-правові аспекти, пов'язані з організацією процедур об'єктивного встановлення та застосування питомих норм витрат тепла для індивідуальних споживачів. Отже, вимірювання кількості спожитого тепла індивідуальним споживачем має велике економічне значення і, до того ж, є досить складним питанням, не тільки технічним, але і соціальним.

Тому підвищення достовірності обліку теплової енергії з одночасним оцінюванням її якості з метою раціонального її використання є надзвичайно актуальною проблемою для економіки України.

Аналіз використовуваних методів обліку тепла індивідуальними споживачами. Сьогодні індивідуальні споживачі теплової енергії – мешканці квартир й орендарі, платять не за спожиту кількість тепла, а за нормовану, і, звичайно, вони не зацікавлені у зниженні енергоспоживання [2]. Розподіл витрат між окремими споживачами у межах цієї групи здійснюється за

нормативними тарифами [5] відносно одиниці площі, одиниці об'єму об'єкта споживання, причому практично відсутня можливість оцінити якість наданої споживачеві послуги з опалення. Кількість спожитої теплової енергії можна знайти з виразу

$$Q_i = q \cdot S_i, \quad (1)$$

де Q_i – кількість використаної теплової енергії i -м споживачем; q – норма споживання теплової енергії на обігрівання 1 м^2 за нормативний період часу; S_i – площа приміщення i -го споживача.

Норми споживання теплової енергії на обігрівання 1 м^2 встановлюються для окремих регіонів на основі розрахунків витрат тепла за попередні роки.

Використання цього методу обліку призводить до значних розбіжностей між встановленою нормою споживання теплової енергії та фактичним її споживанням, а тому не сприяє об'єктивності оплати за використання енергоресурсів, провокує їх неефективне використання, завищує показники фактичної потреби в них і, загалом, не сприяє впровадженню енергозощаджувальних технологій.

Частковим вирішенням цієї проблеми, за наявності загальнобудинкового теплотічильника, є впровадження методики оцінювання кількості спожитого тепла за допомогою розподілу загальної вимірюваної кількості тепла пропорційно до площі окремих приміщень (квартир, офісів) [5].

$$Q_i = Q \cdot \frac{S_i}{S}, \quad (2)$$

де Q_i – кількість використаної теплової енергії i -м споживачем; Q – кількість теплової енергії, за показами будинкового теплотічильника, за певний період часу; S_i – площа приміщення i -го споживача; S – площа всього будинку.

Цей метод значно підвищує достовірність загального обліку теплової енергії, але не стимулює встановлення та використання регульовальних пристроїв індивідуальними споживачами, що не сприяє підвищенню енергоощадності.

Цей метод не враховує також індивідуальних теплотехнічних характеристик окремих приміщень та ефективності використаних в них опалювальних пристроїв, а отже, не може забезпечити достатньо об'єктивної оцінки індивідуального споживання тепла.

Для вирішення питання індивідуального обліку спожитої теплової енергії запропоновано метод [6], який полягає в тому, що розподіл загальної витрати

тепла між окремими споживачами здійснюють пропорційно до опалюваної площі, на основі вимірювання температури води в системі опалення на границях опалюваних приміщень у кожного окремого споживача, що дасть змогу забезпечити інваріантність до характеристик встановлених опалювальних пристроїв і враховувати стан регулювальних кранів у теплогідравлічній моделі системи опалення.

У цьому методі за основу для розрахунків індивідуальної витрати тепла запропоновано використовувати рівняння теплопередачі від води до повітря, які є базовими для розрахунку систем опалення [6]:

$$Q = k_{np} \Delta T F_{ek}, \quad (3)$$

де Q – кількість тепла, віддана нагрівачем;
 $k_{np} = k \Delta T^n G_{ek}^m$ – середній коефіцієнт теплопередачі опалювального пристрою; $\Delta T = (T_1 - T_2) / 2 - T_{нов}$;
 T_1, T_2 – температура води на вході та виході нагрівача відповідно; $T_{нов}$ – температура повітря у приміщенні, визначена так, як вона визначалась під час випробування опалювального пристрою;
 $G_{ek} = G_f / (G_{cm} \cdot F_{ek})$ – емпіричний коефіцієнт, пропорційний до еквівалентної витрати теплоносія; F_{ek} – емпіричний коефіцієнт, пропорційний до еквівалентної площі нагрівальної поверхні опалювального пристрою.

Оскільки витрата впливає на коефіцієнт теплопередачі через зміну коефіцієнта тепловіддачі від теплоносія до внутрішньої стінки, який для води є досить великим, то його залежність від еквівалентної витрати G_{ek} є незначною. Під час розрахунків спираються на еквівалентний розмір опалювального приладу та встановлюють середній коефіцієнт тепловіддачі в стандартних умовах. Різниця ΔT обчислюється як різниця між середньою арифметичною температурою на вході та на виході опалювального пристрою та температурою повітря у визначеній точці приміщення.

Це співвідношення достатньо точне для практики і тому точність визначення кількості спожитого тепла залежатиме лише від точності вимірювання температур та еквівалентної витрати теплоносія. Наприклад, при середньоквадратичних відхиленнях вимірювання всіх температур $\Delta T = \pm 0,5$ °С, похибка визначення кількості тепла Q становитиме приблизно ± 2 % [6].

Незважаючи на простоту, цей метод не дає змоги враховувати теплової ефективності окремих при-

міщень, що не сприяє впровадженню енергозощаджувальних заходів. Точність визначення кількості тепла згідно з виразом (3) не може дати практично задовільних результатів через часові зміни коефіцієнта теплопередачі опалювального пристрою внаслідок накопичення відкладень, фарбування, екранування тощо. Разом з тим, відомо [4], що певну кількість тепла приміщення отримує також від труб (стояків), у деяких випадках до 30 %, що повинно бути враховано.

Потреба постійної економії енергоресурсів поставила вимогу переходу до тарифів реального часу, що дасть змогу вийти на дійсну ціну енергоресурсу та оптимізувати його виробництво, постачання і споживання. Зокрема, потрібно створювати умови введення економічних стимулів регулювання обсягів споживання енергоресурсів, а теплової енергії – першочергово.

Для розв'язання цієї задачі в роботі [7] запропоновано новий метод індивідуального обліку теплової енергії, суть якого полягає в збиранні та інтегруванні параметрів, які безпосередньо відповідають за теплообмін між опалювальними приладами і внутрішнім повітрям у приміщенні. Різниця між температурою поверхні опалювального пристрою і температурою у приміщенні при визначеній площі теплообміну, згідно із теорією теплообміну [8, 9], визначає кількість тепла, яке надходить в приміщення.

Ця задача розв'язується тим, що в способі визначення спожитої теплової енергії на опалення додатково визначають ефективні площі нагрівання $S_{ie\phi}$ та коефіцієнти тепловіддачі λ_i кожного з нагрівачів, вимірюють ефективну температуру поверхні нагрівача $t_{ie\phi}$ і визначають коефіцієнт ефективності кожного з нагрівачів k_i за співвідношенням

$$k_i = \frac{\lambda_i S_{ie\phi}}{q_s S_i} (t_{ie\phi} - t_{np}), \quad (4)$$

де q_s – усереднене значення теплоти на одиницю опалюваної площі; S_i – площа приміщення; t_{np} – розрахункове значення температури в опалюваних приміщеннях; $S_{ie\phi}$ – ефективна площа нагрівання i -го нагрівача; λ_i – коефіцієнт тепловіддачі i -го нагрівача; $t_{ie\phi}$ – ефективна температура поверхні i -го нагрівача;

Спожиту кожним окремим локальним споживачем теплову енергію Q_{jlc} визначають за співвідношенням

$$Q_{jlc} = \sum_{i=1}^n k_i S_i, \quad (5)$$

де Q_{jc} – теплова енергія, спожита кожним окремим локальним споживачем; $i=0,1,\dots,n$ – кількість опалюваних приміщень кожного із локальних споживачів. Визначають теплову енергію Q_{cm} , спожиту всіма споживачами, які мешкають в будівлі, за співвідношенням

$$Q_{cm} = \sum_{j=1}^m Q_{jc}, \quad (6)$$

де Q_{cm} – спожита всіма споживачами теплова енергія, які є в будівлі; $j=0, 1, 2, \dots, m$ – кількість локальних споживачів у будівлі.

Вимірювання ефективної температури поверхні нагрівача, експериментальне визначення коефіцієнтів тепловіддачі та визначення ефективних площ нагрівання окремих нагрівачів дає можливість розрахувати коефіцієнти їх ефективності і точніше, порівняно з відомим способом, визначати фактичну, а не нормативну, спожиту локальним споживачем теплову енергію на опалення, що, в кінцевому результаті, дасть змогу економити кошти на її оплату. Такий спосіб визначення спожитої теплової енергії на опалення локальних споживачів слугуватиме об'єктивним економічним стимулом для локального споживача з метою виконання ним різноманітних заходів економії теплової енергії. На основі цього методу можна визначати у межах будівлі найімовірніші місця втрати тепла, наприклад, порівнюючи теплоспоживання окремих подібних локальних споживачів (квартир, офісів підприємств тощо, під'їздних блоків приміщень, приміщень на типових поверхах тощо і розробляють заходи для їх зменшення.

Перспективність цього методу полягає в тому, що споживач тепла, встановивши на вході опалювального пристрою регулятор подавання теплоносія, може встановлювати необхідну температуру в приміщенні і, тим самим, заощаджувати на оплаті коштів за спожиту теплову енергію.

Для вирішення питання підвищення енергоефективності систем тепlopостачання необхідно зосередити увагу на пошуку можливих способів удосконалення методів індивідуального обліку тепла і їх стандартизацію, пошуку взаємозв'язку економічних питань з технічними аспектами обліку теплової енергії та діагностики теплових і гідравлічних режимів систем опалення. Окрім цього, для оцінювання якості наданої послуги з опалення та встановлення відповідного тарифу необхідно в реальному масштабі часу

вимірювати та реєструвати температуру в опалюваному приміщенні. Оскільки підвищення точності обліку індивідуального споживання тепла недоцільне без створення можливості його індивідуального регулювання, то одразу виникає організаційно-правовий аспект використання регуляторів температури в опалюваному приміщенні. Зазначимо, що, окрім окреслених організаційно-технічних проблем, індивідуальний облік теплової енергії забезпечує істотну економію коштів, наприклад, за експертними оцінками похибка обліку в 1 % призводить до втрат в Україні близько 100 млн. грн. на рік [7].

Оцінювання ефективності застосування методів обліку теплової енергії індивідуальними споживачами. Досвід зарубіжних країн показує, що комплексний підхід до енергозбереження дає змогу заощаджувати до 25 % споживаних енергоносіїв [4]. В Україні більшість будинків мають централізовану систему опалення, зміна якої для більшості споживачів є нереальною, до того ж подекуди понад половина матеріально-технічної бази як ЖКГ, так і житлового фонду є фізично зношеною і морально застарілою. Об'єктивним стимулом для всебічної економії в таких умовах завжди буде індивідуальний облік спожитої теплової енергії за можливості її індивідуального регулювання.

Важливою умовою на шляху впровадження методів індивідуального обліку спожитої теплової енергії, особливо під час перехідного періоду, є можливість просто і з достатнім рівнем достовірності порівняти ефективність застосування конкретного методу обліку в кожному індивідуальному випадку.

Тому на нинішньому етапі реформування послуг тепlopостачання доцільно здійснити порівняльну оцінку переваг використовуваних методів індивідуального обліку спожитої теплової енергії.

Для оцінювання наведених вище методів індивідуального обліку тепла скористаємося шкалою порядку. Оцінювання методів за окремим показником здійснюватиметься присвоєнням їм балів, що відповідають ступеню їх відповідності цьому показнику серед сукупності оцінюваних методів. Виберемо таку шкалу відповідності: «низький ступінь відповідності» – 1 бал, «середній ступінь відповідності» – 2 бали, «високий ступінь відповідності» – 3 бали. Результати оцінювання зведемо в таблицю (див. таблицю).

Оцінювання ефективності впровадження методів обліку тепла

Показники ефективності методу	Метод обліку тепла			
	№ 1 – за нормами спожите тепло (віднесене до площі приміщення)	№ 2 – покази будинкового лічильника розподіляються пропорційно до площі приміщення	№ 3 – покази будинкового лічильника розподіляються пропорційно до різниці температур на вході та виході опалювального пристрою	№ 4 – покази будинкового лічильника розподіляються пропорційно до співвідношення між параметрами, які безпосередньо відповідають за теплообмін між опалювальними приладами і внутрішнім повітрям у приміщенні
Точність обліку	1	2	3	3
Можливість індивідуального регулювання споживання	1	1	3	3
Ефективність для індивідуального обліку	1	2	2	3
Можливість оцінювання якості наданої послуги тепlopостачання	1	1	1	3
Ступінь нормативного забезпечення	3	3	2	2
Відсутність додаткових затрат на впровадження методу	3	2	1	1
Кількість балів	10	11	12	15
Рекомендації до застосування	Застарілий метод з низькою точністю обліку тепла	Забезпечує прийнятну точність за мінімальних затрат	Забезпечує прийнятну точність та можливість часткового врахування індивідуальних теплотехнічних особливостей приміщення	Забезпечує високу точність та можливість врахування більшості індивідуальних теплотехнічних особливостей приміщення

Такий спосіб бального оцінювання ефективності методів індивідуального обліку тепла може стати простим та ефективним способом вибору методу обліку для конкретних умов застосування. Наприклад, якщо замінити бали конкретними значеннями фізичних величин, що їх відображають, то можна достатньо точно оцінити переваги та недоліки використання конкретного методу обліку.

Очевидно, що вибір показників ефективності методів обліку може змінюватися залежно від ситуації, яка виникає в кожному окремому випадку. Опти-

мальним, з погляду забезпечення точності оцінювання та затрат на її виконання, можна вважати експертний метод.

Огляд методів індивідуального обліку спожитого тепла без врізування у наявну тепломережу показав, що найменші апаратні затрати притаманні системі обліку на основі матричного принципу побудови [10]. Оцінювання кількості спожитої теплової енергії відбувається за допомогою апроксимації класичного рівняння функціональною залежністю, параметри якої встановлюються на основі вимірювання температур у

певних точках тепломережі та наявності колективного теплотічильника.

Висновок. Отже, питання поквартирного обліку тепла повинно мати не тільки технічне (забезпечення збирання оперативної та об'єктивної інформації про використання теплової енергії кожним обліковим приміщенням), але й адміністративне (упровадження прогресивних методик оцінювання витрат тепла, моніторинг змін теплотехнічних показників окремих приміщень, поточне коригування тарифів). Це дасть змогу отримувати об'єктивну інформацію про стан використання теплової енергії конкретним обліковим приміщенням, оперативно оцінювати якість використання тепла та ввести диференційовані тарифи, що максимально враховуватимуть рівень споживання конкретної квартири.

Здійснений аналіз показує, що метод обліку № 1 є застарілим і його використання призводить до зменшення об'єктивності обліку тепла та не сприяє впровадженню заходів з енергозбереження. Метод № 2 сьогодні є найпоширенішим методом обліку, значно підвищує об'єктивність обліку для великих споживачів, однак не має особливих перспектив для обліку споживання тепла окремими приміщеннями будинку. Певні переваги для «індивідуалізації» обліку споживання тепла окремими приміщеннями дає метод № 3. Його впровадження дає змогу оперативно враховувати стан споживання тепла окремим приміщенням, однак його застосування обмежене, оскільки відсутня можливість врахування теплової ефективності приміщення. Найперспективнішим, на нашу думку, є метод № 4, оскільки, поряд із підвищенням точності обліку тепла, дає змогу оперативно враховувати зміни теплотехнічних властивостей контрольованого приміщення. Незважаючи на затрати на його впровадження, метод № 4 є найперспективнішим з погляду об'єктивності обліку та стимулювання енергозаощаджувальних заходів. Враховуючи рівень розвитку мікроелектроніки

та засобів комунікації, метод № 4 можна вважати найперспективнішим з погляду об'єктивності обліку та стимулювання заощаджувальних заходів.

Виконаний аналіз щодо застосування сучасних методів індивідуального обліку спожитої теплової енергії показує необхідність їх практичного впровадження та використання у новій методиці обліку і розрахунків за спожиту теплову енергію, а також з метою оцінювання якості наданої послуги теплопостачання.

1. Гаманюк Л.Ю. Оснащення засобами обліку споживання енергоресурсів житлово-комунальної сфери. www.necin.gov.ua. 2. Маліков В.М., Худенко А.А. Підвищення ефективності енергозбереження в житлово-комунальному господарстві. www.necin.gov.ua. 3. Пороський М.І. Політика з енергозбереження. www.necin.gov.ua. 4. Матеріали ТАСІС. www.necin.gov.ua. 5. Міжгалузеві норми споживання електричної та теплової енергії для установ і організацій бюджетної сфери України / Наказ Державного комітету України з енергозбереження від 25.10.99 № 91. 6. Лозбін В.І., Столярчук П.Г., Засименко В.М., Яцук В.О., Плавинська Т.О. Теплотехнічні аспекти обліку витрат теплової енергії індивідуальними споживачами // Теплоенергетика, інженерія довкілля, автоматизація. Вісник Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1999. – № 365 – С. 88–91. 7. Патент 74197 (Україна). Пристрій обліку спожитої теплової енергії на опалення / П.Г. Столярчук, В.О. Яцук, Ю.В. Яцук, В.О. Лозбін, В.Б. Здеб. Заявл. 06.02.2003 №200321049; Опубл. 15.11.2005. Бюл. №11. – 9 с. 8. Сканава А.Н. Конструирование и расчет систем водного и воздушного отопления зданий. – М., 1983. 9. Куталадзе С.С. Основы теории теплообмена. 5-е изд. – М., 1979. 10. Столярчук П.Г., Яцук В.О., Лозбін В.І., Голука Б.М., Здеб В.Б. Система обліку спожитої теплової енергії на опалення // Методи та прилади контролю якості. – 2005. – Вип. 14. – С. 37–42.