

Аналіз основних способів обліку використання тепла індивідуальними споживачами

© Наталія Заміщак, Ярослав Луцик, 2012

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано основні способи обліку витрат тепла індивідуальними споживачами, розглянуті їхні переваги та недоліки. Результати проведеної роботи можна використовувати при розробці та проектуванні нових засобів вимірювання витрат тепла.

Проанализированы основные способы учета расхода тепла индивидуальными потребителями, рассмотрены их преимущества и недостатки. Результаты проведенной работы можно использовать при разработке и проектировании новых средств измерения расхода тепла.

This paper describes the analysis of the main ways of account of heat energy consumption by individual user and presents their advantages and disadvantages. The results of the work can be used in the design and developing of new means of heat energy.

Постановка задачі. Відомо, що в цілому світі та в Україні, зокрема, за останні десятиліття постала гостра необхідність в ощадливому використанні енергетичних ресурсів. У минулому, за низьких цін на енергоносії, не вважалося за проблему те, що житлово-комунальне господарство (ЖКГ) є однією із найбільш енергозатратних галузей. В структурі затрат ЖКГ витрати енергоресурсів на теплове постачання посідають перше місце. Кількісні затрати енергетичних ресурсів у сучасному житловому секторі розподіляються наступним чином: приготування їжі – 6 %, гаряча вода – 11 %, освітлення і використання різних пристроїв та побутової техніки – 11 %, опалення – 72 % (див. Рисунок 1) [1].



Рисунок 1. Діаграма поділу енергетичних затрат в житловому секторі.

Отже, заощадження енергетичних ресурсів в житлово-комунальному господарстві залежить, в першу чергу, від економії в галузі теплопостачання, де найзатратнішою часткою є багатопверхові (багатоквартирні) будівлі.

Для підвищення ефективності теплопостачання удосконалюються централізовані системи теплопостачання (підвищується теплоізоляція теплопроводів, використовується більш ефективно устаткування, сучасні прилади автоматики і керування), та проводиться підвищення рівня енергетичної ефективності будинків (енергоаудит і паспортизація будинків, збільшення термічного опору огорожувальних конструкцій, застосування ефективного інженерного устаткування, тощо) [2]. Крім того, важливим заходом є обладнання будинків засобами обліку витрат тепла.

На сьогодні, оплата за опалення становить значну частину оплати за житло. Українські споживачі енергоресурсів, переважно, платять не за реально спожиту кількість теплової енергії, а за нормовану, і не зацікавлені у зниженні енергоспоживання. Виробники ж енергоресурсів, окрім прямих витрат теплової енергії до її

вартості, яку сплачують споживачі, включають також витрати на компенсацію втрат трубопроводами та інженерними спорудами теплових мереж, експлуатаційні витрати, у тому числі й на технічне обслуговування.

Мета даної роботи – проведення аналізу основних існуючих способів обліку витрат тепла індивідуальними споживачами для застосування його результатів при розробці та проектуванні нових засобів вимірювання витрат тепла.

Виклад основного матеріалу. Проаналізуємо, як сьогодні обліковується спожите тепло в окремого споживача.

Якщо будинок не оснащено засобом обліку теплової енергії, то розрахунок для індивідуальних споживачів ведеться за **нормами витрат тепла** на потреби опалення (КТМ 204 України 244-94). Норми витрат — це показник витрат на виробництво одиниці продукції (роботи) для опалення приміщень з розрахунку на 1 м^2 загальної опалювальної площі чи 1 м^3 об'єму будов (за зовнішнім обміром) [3]. Для такого способу кількість спожитої теплової енергії знаходиться наступним чином:

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

де Q_i – кількість використаного тепла i -тим споживачем; k – норма споживання теплової енергії на обігрівання 1 м^2 за нормований період часу; S_i – площа приміщення i -того споживача.

Норми споживання теплової енергії на обігрівання 1 м^2 встановлюються для окремих регіонів на основі розрахунків витрат тепла за попередні роки. Річні потреби тепла на опалення визначають за окремими формулами, результат розрахунків залежить від зовнішньої температури в опалювальний період, тривалості опалювального періоду, кількості годин роботи систем опалення на добу, тощо.

Такий спосіб не враховує ступінь засклення приміщень, особливості об'ємно-планувального вирішення будинків та інші теплотехнічні фактори, що істотно впливають на енергозатратність приміщення. Також застосування такого обліку призводить до значних розбіжностей між встановленою нормою споживання тепла та фактичним його споживанням, часто завищується реальна потреба споживаної кількості тепла і тому не сприяє впровадженню енергозощаджувальних технологій з боку споживача.

Також в Україні поширений так званий **«комерційний облік»**, що здійснюється шляхом оснащення будинку чи під'їзду окремим засобом обліку. Згідно із статистичними даними [5] в Україні існує близько 150 тисяч багатоквартирних будинків, які мають централізоване опалення. Станом на 1 січня 2002 року, з усіх цих будинків, були обладнані лічильниками теплової енергії близько 7,0 % від загальної кількості. Для Львівської області цей показник становить 18,4%.

У випадку встановлення будинкових засобів обліку теплової енергії індивідуальний споживач оплачує послуги згідно з їх показниками пропорційно опалюваній площі (або об'єму) квартири. Тоді кількість спожитої теплової енергії окремим споживачем Q_i знаходиться так:

$$Q_i = Q_{\text{бюд}} \cdot \frac{S_i}{S}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{бюд}}$ – кількість теплової енергії, за показами будинкового теплового лічильника; S_i – за певний період часу; площа приміщення i -того споживача; S – площа всього будинку.

Цей спосіб більш достовірний щодо загальнобудинкового використання теплової енергії, але що стосується окремих споживачів, то в ньому не враховуються індивідуальні теплотехнічні характеристики кожного приміщення та його опалювального обладнання.

При **способі визначення витрат тепла відповідно до витрати теплоносія** в системі опалення вимірюється інтегральна кількість теплової енергії Q , віддана квартирою чи окремим опалювальним пристроєм за деякий проміжок часу $\Delta t = t_2 - t_1$ (t_1 – момент часу, що відповідає початку вимірювання, t_2 – момент часу, що відповідає закінченню вимірювання). Аналітичний вираз для визначення Q є відомий і достатньо вивчений [6, 7]

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} q(t) dt, \quad (3)$$

де $q(t)$ - це теплова потужність, яка відповідає кількості тепла за одиницю часу t і її розмірність – Вт, Дж/с. Відомо, що $q(t) = m(t) \cdot h(t)$ (тут $m(t)$ - маса теплоносія, що витрачається для обігрівання квартири, кімнати чи окремого теплового пристрою, кг; $h(t)$ - питома ентальпія теплоносія, Дж/кг). Тоді для мереж тепlopостачання, де є повернення охолодженого теплоносія до тепловиробників або передання його наступним споживачам вираз (3) набуває наступного вигляду:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} m(t)(h_{np}(t) - h_{ze}(t))dt, \quad (4)$$

де $h_{np}(t)$, $h_{ze}(t)$ – питома ентальпія теплоносія відповідно в прямому та зворотному трубопроводах, Дж/кг. Тепловий лічильник обчислює теплову енергію, як інтеграл, одним із відомих числових методів.

Якщо перейти до виразу (4) у неінтегральній формі, тоді вираз для обчислення кількості теплової енергії Q_i , спожитої i -тим споживачем, буде таким:

$$Q_i = m_i(h_{i,np} - h_{i,ze}). \quad (5)$$

Ентальпія прямо не вимірюється, проте її можна виразити через температуру T і питому теплоємність c теплоносія. Тоді

$$Q_i = m_i \cdot c \cdot (T_{i,np} - T_{i,ze}) = m_i \cdot c \cdot \Delta T_i, \quad (6)$$

де $T_{i,np}$, $T_{i,ze}$ - температура теплоносія відповідно в прямому та зворотному трубопроводах i -того споживача, а ΔT_i - їх різниця. Масу теплоносія m_i в системі опалення теж не можливо виміряти, а вимірюється його об'ємний розхід V_i , м³/с. Якщо $m_i = \rho \cdot V_i$ (де ρ - густина теплоносія, кг/м³), тоді

$$Q_i = \rho \cdot V_i \cdot c \cdot \Delta T_i. \quad (7)$$

Густина води (теплоносія) ρ залежить від її температури T і тиску p . Часто величиною ρ нехтують, оскільки густина води при будь-якій температурі і будь-якому тиску близька до 1000 кг/м³, тому рахується, що маса 1 м³ води приблизно рівна 1 тонні. Залежність густини води від температури та тиску неможливо представити точною формулою, тому вона визначається або за спеціальними таблицями [8, 9] або за допомогою апроксимуючого поліному [10]. Визначення питомої теплоємності c , яка також залежить від тиску p та температури T , проводиться аналогічними методами – з таблиць, або функціонально. Через такі практичні особливості за нормативами [11, 12] використовується формула (5) для визначення теплової енергії в Україні та в інших країнах колишнього Радянського Союзу.

У Західних країнах теплову енергію визначають як

$$Q_i = V_i \cdot K_T \cdot (T_{i,np} - T_{i,ze}) \quad (8)$$

де K_T – тепловий коефіцієнт (відомий також як коефіцієнт Штюка), який залежить від властивостей теплоносія за відповідних значень температури і тиску, МДж/(м³·°C). Відомо, що формула (8) характеризується значною методичною похибкою [13]. Умовно істинне значення теплового коефіцієнта для води, у разі використання її як теплоносія, розраховують для тиску 16 атмосфер (1600 кПа). Тепловий коефіцієнт K_T враховує густину теплоносія і його питому теплоємність, визначені з урахуванням зазначеного тиску. Засоби вимірювання теплової енергії європейського виробництва працюють за відповідними європейськими стандартами, але вітчизняні системи тепlopостачання не розраховані на тиск 16 атмосфер. Тому особливості описаного вище способу розрахунку слід враховувати у разі впровадження закордонних вимірювальних засобів в Україні.

Отже, для реалізації способу визначення витрат тепла відповідно до витрати теплоносія в системі опалення слід здійснювати вимірювання витрати теплоносія V_i , температури теплоносія у вхідному та вихідному (прямому та зворотному) трубопроводах $T_{i,np}$ та $T_{i,ze}$, тиску теплоносія p (якщо його значення не приймають сталим). За таким способом працюють практично всі теплові лічильники (СТ – 1М, Multical, Sensonic, Ultraheat 2WR, Integral, UFEC 005 та інші).

Оплата теплової енергії за показниками індивідуальних поквартирних теплोलічильників, є найоб'єктивнішою і такою, що стимулює мешканців і власників приміщень до ефективного та ощадливого споживання теплової

енергії. Проте, вартість лічильників тепла є високою – від 300 доларів США і більше. Встановлення таких лічильників просто реалізується лише у тих будівлях, де система опалення має горизонтальне розведення обігрівачів. Оскільки в Україні більшість багатоповерхових будівель мають вертикальне розведення обігрівачів, то пропонується поруч з комерційним обліком застосовувати системи для поквартирного обліку витрат теплоносія, робота яких основана також на способі визначення витрат тепла відповідно до витрати теплоносія. Така система поквартирного вимірювання тепла визначає теплоспоживання кожного стояка окремо, визначає різницю значень ентальпій на вході і виході в приміщення локального споживача (квартири) по кожному стояку, що проходить через приміщення, визначає частку спожитої теплової енергії в приміщенні квартири в межах одного стояка, розраховує загальну кількість тепла, спожитого локальним споживачем.

Основним недоліком *способу визначення витрат тепла відповідно до витрати теплоносія* є те, що значення теплової енергії за ним повністю залежить від теплофізичних параметрів теплоносія, в нашому випадку - води. Вода, що протікає у системах централізованого опалення повинна відповідати певним нормам, на основі яких і визначені методи розрахунку маси та ентальпії теплоносія. Але насправді, у системах вода часто далека від зазначених норм. Тому теплофізичні параметри, які визначаються в процесі розрахунку витрат тепла будуть не точними Крім того, забруднення теплоносія-води не лише різними домішками, але й крупними частками накипу чи іншого бруду виводить з ладу витратоміри, які використовуються в засобах вимірювання теплоспоживання. В таких випадках можна застосовувати ультразвукові витратоміри, але вони є значно дорожчими від механічних. Також у разі реалізації цього способу часто використовують сталі значення тиску, застосування якого теж є обґрунтоване для “нормованого” теплоносія. А для тієї “суміші”, що є насправді теплоносієм, ці дані не враховані. Та й саме значення тиску в системі опалення може теж суттєво змінюватись на різних ділянках. Щоб уникнути цього, ставлять у засоби та системи вимірювання теплової енергії вимірювачі тиску, що робить ці засоби і системи дорожчими та складнішими.

Існує ще один спосіб визначення витрат тепла, який на початку ХХ століття запропонував датський інженер Одін Кларіус [14]. Він полягає у *вимірюванні кількості тепла, що віддає поверхня кожного обігрівача*. Теоретично, процес віддавання тепла від обігрівача (батареї, радіатора, конвектора) до повітря кімнати вважають конвективним теплообміном. Основним законом, що описує процес конвективної теплопередачі, є закон Ньютона-Ріхмана, у відповідності до якого кількість тепла, передана за одиницю часу конвекцією, прямопропорційна площі поверхні теплообміну та різниці температур між поверхнею твердого тіла і рідною (газом) [15, 16]:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot (T_{cm} - T_n), \quad (9)$$

де S - площа поверхні, m^2 ; T_{cm} і T_n - температури стінки і теплоносія відповідно, $^{\circ}C$. У випадку обігрівача, що нагріває повітря в кімнаті, закон Ньютона-Ріхмана набуде вигляду

$$Q_j = \alpha_j \cdot (T_{jo} - T_{jнов}) \cdot S_j \cdot t, \quad (10)$$

де j – номер конкретного обігрівача; α_j – коефіцієнт тепловідатності обігрівача, $Вт/(m^2 \cdot K)$; T_{jo} – середня температура поверхні обігрівача, $^{\circ}C$; $T_{jнов}$ – температура повітря в приміщенні (повітря тут як охолоджуючий теплоносіє), $^{\circ}C$; S_j – площа поверхні, що віддає тепло (площа обігрівача); m^2 ; t – час споживання тепла, с.

Тоді загальна витрата теплової енергії в окремій квартирі буде визначатись з виразу:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n Q_j, \quad (11)$$

де n – кількість обігрівачів в i -тій квартирі.

Однак у разі визначення величини теплоспоживання таким методом, у розрахунках використовуються коректувальні коефіцієнти α_j , які враховують відмінності обігрівачів, що застосовуються. Ці коефіцієнти носять назву – радіаторні коефіцієнти, і визначаються шляхом досліджень для кожного обігрівача. Сам радіаторний коефіцієнт залежить від низки зовнішніх факторів, зокрема, від неоднорідності виготовленого радіатора (що спричинює до нерівномірного теплового потоку по поверхні), якості теплоносія (що призводить до зміни радіаторного коефіцієнта з часом в результаті зашлакованості радіатора), способу подачі теплоносія тощо. Тому цей спосіб актуальний для ідеального будинку, який має високоякісні однотипні радіатори з чітко визначеними характеристиками. На сьогодні в українських житлових будинках застосовують різні обігрівачі (радіатори) – від чавунних до сучасних біметалічних, а це вимагає отримання детальних характеристик всіх їх типів.

Відомі реалізації систем обліку витрат тепла для індивідуальних споживачів, що визначають витрату тепла за методом визначення кількості тепла, відданого радіатором [15, 16]. Ними пропонується для комерційного обліку витрат тепла визначати середнє значення коефіцієнту тепловидатності обігрівача $\alpha_{сер}$. Загальна кількість спожитої теплової енергії $Q_{\text{в\ddot{o}}}$ (за показом загальнобудинкового лічильника) буде визначатись як

$$Q_{\text{в\ddot{o}}} = \sum_{j=1}^m Q_j, \quad (12)$$

де m – загально будинкова кількість радіаторів, що встановлені в квартирах та сходових клітках, загальних коридорах і т. д. Тоді із врахуванням (10)

$$\alpha_{сер} = \frac{Q_{\text{в\ddot{o}}}}{\sum_{j=1}^m S_j \cdot \Delta T_j \cdot t}, \quad (13)$$

де ΔT_j - різниця температур між температурою на поверхні обігрівача і охолоджувального середовища локального споживача тепла.

Визначивши $\alpha_{сер}$ підставляємо його до виразу (10) і знаходимо кількість тепла, відданого окремим радіатором Q_i за час t . Кількість тепла, спожитого локальним споживачем Q_i , у такому способі визначатиметься як

$$Q_i = k_{\text{заг.в\ddot{u}т.}} \sum_{j=1}^n Q_j, \quad (14)$$

де $k_{\text{заг.в\ddot{u}т.}}$ – коефіцієнт, що враховує витрати тепла на загальнобудинковий обігрів (обігрів сходових кліток, технічних приміщень, загальних коридорів і т.д.) для кожного окремого споживача.

Отже, спосіб визначення витрат тепла локальним споживачем із врахуванням закону Ньютона-Ріхмана дозволяє відійти від теплофізичних особливостей теплоносія. При застосуванні цього методу для побудови системи визначення витрат тепла індивідуальними споживачами в багатоповерхових будівлях для визначення кількості тепла, що віддає пристрій опалення, потрібним стає лише вимірювання температури. Це дозволяє також спростити технічне рішення та знизити вартість системи. Натомість у разі використання цього способу великого значення набуває коефіцієнт тепловидатності α . А це, в свою чергу, визначення характеристик типів радіаторів (обігрівачів), що зробити цілком можливо, оскільки більшість з характеристик радіаторів задаються їх виробниками.

Висновки. Враховуючи загальну ситуацію в Україні у період затяжної енергетичної кризи та дороговизни палива, можна зробити висновок про необхідність пошуку нових шляхів енергозбереження. Оскільки одною з найбільш енергозатратних галузей є житлово-комунальне господарство, а найвагоміші в ньому – витрати енергоресурсів на теплове постачання, то важливим є впроваджувати енергоощадні заходи, власне, у цьому секторі. До енергоощадних заходів відноситься впровадження індивідуального обліку використання тепла в багатоквартирних будинках, оскільки це спонукає споживачів до економії використовуваної теплової енергії у власному приміщенні. Слід зазначити, що індивідуальний облік буде результативнішим за умови встановлення засобів для регулювання температури теплових пристроїв самим споживачем та проведення утеплення вікон, дверей чи зовнішніх стін приміщення.

Аналіз існуючих способів обліку теплової енергії в окремого споживача та визначення їхніх переваг та недоліків дозволяє обрати конкретний для засобів вимірювання теплової енергії, зокрема для систем обліку індивідуального споживання теплової енергії в багатоквартирних будинках. Для побудови таких систем в більшості випадків застосовується спосіб визначення витрат тепла за витратою теплоносія, оскільки він є більш вивченим і вважається достовірнішим. Хоча, з точки зору технічної реалізації, спосіб обліку, побудований на законі Ньютона-Ріхмана є простіший та дешевший. Але при його застосуванні необхідно враховувати як неточності у визначенні коефіцієнту тепловидатності обігрівача, так і складову теплового випромінювання, яка в багатьох видах обігрівачів є значною.

1. *Thermal Modeling of a Solar Water Collector Highly Building Integrated*, F. Motte, C. Cristofari, G. Notton. *Excerpt from the Proceedings of the 2011 COMSOL Conference in Stuttgart, Germany*.
2. Михайлюк О.Л., Ринкові механізми енергозбереження на півдні України. <http://www.niss.od.ua>. [З мережі]
3. Єрмоєнко А., Українців ставлять на лічильник — тепловий. «Дзеркало тижня. Україна». №43. <http://dt.ua/ECONOMICS>.
4. Маліков В.М., Худенко А.А. Підвищення ефективності енергозбереження в житлово-комунальному господарстві. <http://www.necin.gov.ua>. [З мережі]
5. Постанова Кабінету Міністрів України від 25 грудня 2002 р. №1957 – К., Про продовження терміну виконання Програми поетапного оснащення наявного житлового фонду засобами обліку та регулювання споживання води і теплової енергії до 2007 року.
6. Михеев М.А. Основы теплопередачи. Ленинград : "Государственное энергетическое издательство", 1956, 392 с.
7. В.С. Каханович. Измерение расхода вещества и тепла при переменных параметрах. Москва : "З", 1970, 168 с.
8. ГСССД Р-776-98. Александров А. А., Григорьев Б. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М. – Издательство МЭИ, 2006. – 168 с.
9. ГСССД 98-86. Вода. Удельный объем и энтальпия при температурах 0...1000 град. С и давлениях 0,001...1000 МПа .
10. МИ 2412-97. ГСИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерения тепловой энергии и количества теплоносителя.
11. Тимчасові правила відпуску та обліку спожитої теплової енергії. – Держ. Комітет України з житлово-комунального господарства. – К., 1996. – 66с.
12. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. утв. Минтопэнерго РФ 12.09.1995 № Вк-4936 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 25.09.1995 № 954).
13. Гришанова І.А., Шляхи вдосконалення витратомірів-лічильників. Вісник НТУУ "КПІ". Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. Вип. 38, Київ : автор невідомий, 2009.- с. 62-70 р.
14. Грачева Екатерина, Сколько платит за воду и отопление? Поквартирный учет расхода воды и тепла и оплата реально предоставленных услуг <http://www.energosber.74.ru/uchet/uchet02.htm>. [З мережі]
15. Луцик Я.Т. та ін. Енциклопедія термометрії / Я.Т. Луцик, Л.К. Буняк, Ю.К. Рудавський, Б.І. Стадник. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – С. 428
16. Врагов А.П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: Навч. посібник. - Суми: Вид-во СумДУ, 2006. - 262 с.