

УДК 531.787

**Ігор Галянчук, Віктор Засименко\*, Віктор Лозбін,  
Петро Столярчук\*, Василь Яцук\***  
НУ “Львівська політехніка”,  
кафедра теплотехніки та теплових електричних станцій,  
\*кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,

## **АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЙ ОБЛІКУ СПОЖИТОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

© Галянчук Ігор, Засименко Віктор, Лозбін Віктор, Столярчук Петро, Яцук Василь, 2001

**Consider the calculation algorithms of common thermal energy for recommended mathematical model attached to use of counters collective heat. Lead the results of experimental verification of considered conception.**

Усестороннє вирішення проблеми енергозбереження неможливе без вдосконалення методів обліку споживаної теплової енергії індивідуальними споживачами при використанні колективних теплотічильників, [1]. Яскравим прикладом недосконалості такого обліку є житлові квартири в багатоквартирних будинках. В таких будинках здебільшого використання індивідуальних теплотічильників є неможливим внаслідок існуючого розведення теплової мережі або економічно невиправданим при існуючій вартості зарубіжних чи вітчизняних теплотічильників.

**Формулювання задачі.** Колективним теплотічильником будемо вважати такий лічильник теплової енергії, який обслуговує групу індивідуальних споживачів та встановлюється на окремий будинок або окремий під'їзд багатоквартирного будинку. Розподіл спожитої теплової енергії між індивідуальними споживачами здебільшого здійснюється прямо пропорційно до житлової площі. Це не сприяє економії теплової енергії окремими споживачами. В зв'язку з цим і була запропонована методика обліку теплової енергії, яка описана в [2, 3]. Вказана методика вимагає експериментальної перевірки на реальних об'єктах.

В основу експериментальної перевірки визначення споживаної теплової енергії повинні бути покладені зіставлення результатів проведених розрахунків витрат за рекомендованими математичними моделями згідно з [2, 3] з показами витратомірів, встановлених на кожному з джерел споживання теплової енергії житлових приміщень в ролі індивідуальних лічильників.

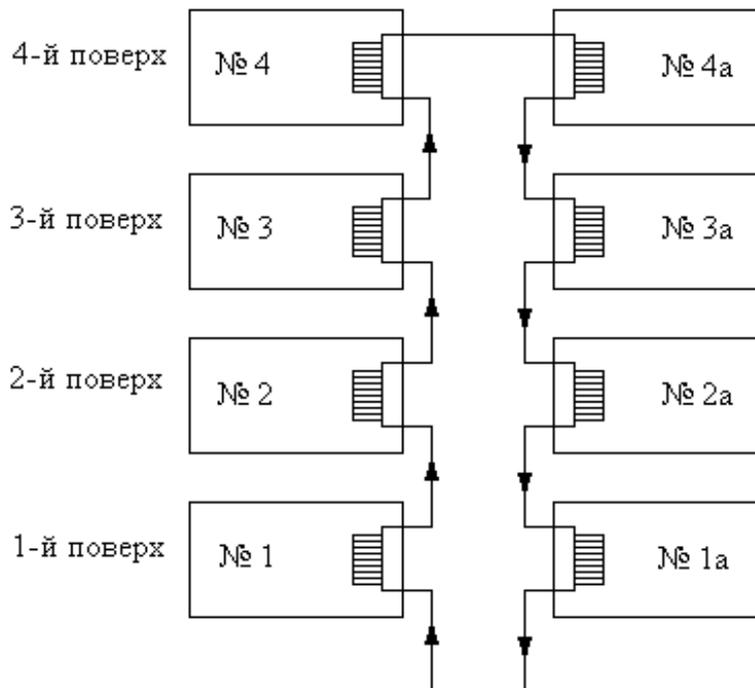
Припускаючи, що індивідуальні лічильники мають однакову систематичну похибку, більшість методичних питань можуть бути розглянуті шляхом дослідження числової моделі з моделюванням відхилень споживання тепла за методом Монте-Карло. Тому далі в роботі під експериментальною перевіркою будемо розуміти зіставлення результатів розрахунків споживання з результатами прямого математичного моделювання.

**Вибір методики.** Зіставлення вказаних показів може бути коректним лише в тому випадку, якщо похибка індивідуальних лічильників (витратомірів) не перевищуватиме (0,2-0,3) %, тобто не більше від похибки колективного лічильника. В зв'язку з цим експериментальна перевірка здійснювалась за умови рівності суми показів всіх індивідуальних лічильників показові колективного лічильника з похибкою, нормованою колективним лічильником:

$$\sum_{i=1}^n Q_i = Q_{\Sigma} \quad (1)$$

де  $Q_{\Sigma}$  – тепловий потік, що реєструється колективним лічильником без врахування втрат;  
 $Q_i$  – тепловий потік  $i$ -го індивідуального споживача;  $n$  – кількість споживачів.

Експериментальна перевірка ряду рекомендованих способів обліку теплової енергії проведена для системи водяного опалення восьми кімнат житлового будинку, теплоносій до яких підводиться від одного стояка з нижньою розводкою. Схема теплопостачання з першого до четвертого поверху для однокімнатних квартир і четвертого до першого поверху для кімнат, площі опалювання  $S_i$  пр. яких відповідно  $10,6 \text{ м}^2$  і  $21,6 \text{ м}^2$ , наведена на рисунку.



Приклад схеми теплопостачання чотириповерхового житлового будинку

У наведеному на рисунку прикладі схеми теплопостачання на підставі розрахунків та норм проектування будівельних теплотехнічних засобів, [4, 5, 6, 7] вибрані певні кількості  $M$  ребер радіаторів, ефективна площа радіатора  $i$ -го споживача наведена в табл. 1.

Коефіцієнт тепловіддачі для  $i$ -го споживача визначався за емпіричною формулою:

$$\lambda_i = 1,163 \cdot \beta_i \cdot [4,815 + 0,03(\theta_{\text{еф}} - \theta_{\text{пр}})]; \quad (2)$$

де  $\theta_{\text{еф}}$  – ефективна температура радіатора;  $\theta_{\text{пр}}$  – установлена температура приміщення (нормоване значення).

Значення  $\beta_i$  (коефіцієнт затікання) залежно від напрямку руху теплоносія такі, [4]:  $\beta=0,78$  для приміщень 1-4 і  $\beta=1,00$  для 4а-1а згідно із схемою теплопостачання, наведеною на рис. 1.

Нормоване значення установленної температури в приміщеннях відповідно:  $\theta_{\text{пр}}=17 \text{ }^\circ\text{C}$  для 1-4 поверхів і  $\theta_{\text{пр}}=18 \text{ }^\circ\text{C}$  для 4а-1а поверхів.

З метою порівняння показів індивідуальних лічильників при вимірюванні ними витрати  $Q_{\text{інд}}$  з розрахунковими значеннями витрати за площею  $R_{\text{прм}}$ , як це роблять нині, наведемо спочатку табл. 1. Знаком “плюс” відзначена додатна похибка, або “переплата за тепло”, знаком “мінус” – від’ємна похибка, або “недоплата за тепло”.

**Порівняння показів індивідуальних витратомірів  
з розрахунковими значеннями витрати за площею**

Пара- метри	Значення параметрів								Сума
	1	2	3	4	4a	3a	2a	1a	
М	7	5	5	7	8	6	7	12	
S <sub>інр</sub> , м <sup>2</sup>	10,6	10,6	10,6	10,6	21,6	21,6	21,6	21,6	128,8
S <sub>іеф</sub> , м <sup>2</sup>	1,778	1,270	1,270	1,778	2,038	1,524	1,778	3,048	
Q <sub>інд</sub> , Вт	773,97	565,92	547,85	712,85	965,40	680,12	651,05	1044,72	5941,28
P <sub>нрм</sub> , Вт	488,96	488,96	488,96	488,96	966,36	966,36	966,36	966,36	5941,28
Похибка δ <sub>нрм</sub> , %	-37	-14	-11	-31	+3	+47	+53	-4,6	

Розрахункові значення витрати за площею P<sub>нрм</sub> визначались за показами колективного лічильника Q<sub>Σ</sub> пропорційно до площі S<sub>інр</sub>, тобто:

$$P_{нрм_i} = q_s \cdot S_{інр} = \frac{Q_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^n S_{інр}} \cdot S_{інр} \quad (3)$$

Різниця в споживанні тепла утворена як особливостями розташування приміщень (втрати тепла через дахове та підвальне покриття), так і через індивідуальність споживання. Остання моделювалась як рівномірний розкид в межах ±10 %. Практично такий розкид утворюється індивідуальними рисами споживача: ущільнення вікон, балконних дверей, надмірним провітрюванням тощо.

Як видно з табл. 1, мешканці істотно “переплачують” за тепло приміщень 2а і 3а, а водночас інші (зокрема мешканці приміщень 1 і 4) істотно недоплачують.

Якщо для розглянутого прикладу підрахувати всю “переплату за тепло”, що становить +692,51 Вт та “недоплату” – -693,11 Вт, то внаслідок приблизної рівності цих значень постачальник тепла зазнає збитків. Необхідно відзначити, що методика розрахунку за площею є соціально справедливою, оскільки передбачає колективну оплату послуг опалення будинку загалом, включаючи витрати на опалення сходових кліток, компенсації за тепловитрати через підвальне та дахове покриття, але не спонукає до економії тепла.

Подальше порівняння здійснимо на основі запропонованих моделей [2, 3].

**Метод постійних установлених коефіцієнтів.** Цей метод характеризується встановленням апріорних поправочних коефіцієнтів для кожного з споживачів теплової енергії. Отже, створюється підстава для зацікавлення в економії тепла мешканцями одного будинку, що користуються загальним (колективним) лічильником.

Оскільки апріорний коефіцієнт виражається як:

$$K_{il} = \frac{\lambda_i \cdot S_{іеф} \cdot \Delta\theta_1}{q_s \cdot S_{інр}} \cdot K'(Q_{\Sigma}) \quad (4)$$

де  $K'(Q_{\Sigma})$  – поправочний коефіцієнт, що залежить від показів колективного лічильника і зростає при збільшенні втрат (тобто при збільшенні показів лічильника), то кожен споживач буде зацікавлений в зменшенні постійно встановленого коефіцієнта  $k_i$  при  $Q_{\Sigma} = \text{const}$ . Перепад температур  $\Delta\theta_i$  визначається як різниця двох встановлених температур:  $\theta_{ie\phi}$  – радіатора та  $\theta_{i\text{пр}}$  – приміщення, тобто:

$$\Delta\theta_1 = \theta_{ie\phi} - \theta_{i\text{пр}} \quad (5)$$

Витрата за цим коефіцієнтом виразиться як:

$$Q_{i1} = K_{i1} \cdot q_s \cdot S_{i\text{пр}} \quad (6)$$

У табл. 2 наведені результати розрахунків встановлених коефіцієнтів за формулою (4), споживаних витрат теплової енергії за формулою (6), а також похибок  $\delta 1$ , які виникають при порівнянні з показами індивідуальних лічильників.

Таблиця 2

**Розрахунок витрати за методом постійних встановлених коефіцієнтів**

Параметри	Значення параметрів								Сума
	1	2	3	4	4a	3a	2a	1a	
$\lambda_i$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	6,299	6,293	6,245	6,143	7,742	7,639	7,434	7,332	
$\theta_{ie\phi}$ , °С	90	87	85	83	80	77	74	71	
$\theta_{i\text{пр}}$ , °С	17	17	17	17	18	18	18	18	
$K_{i1}$	1,5955	1,0918	1,0525	1,4068	0,9369	0,6578	0,7089	1,1343	
$Q_{i1}$ , Вт	780,12	533,83	514,62	687,85	933,45	655,41	706,29	1130,29	5941,76
$Q_{\text{пр}}$ , Вт	837	569	556	721	705	1013	737	1179	6315
$\delta 1$ , %	+0,8	-5,7	-6,1	-3,5	-3,3	+1,4	+8,5	+8,2	

Отже, використовуючи запропонований метод [2, 3] у вигляді наведених за формулою (4) постійних встановлених коефіцієнтів, для розглянутого прикладу (див. рисунок) похибка значно зменшилась і знижується в межах від -6,1% до +8,5%. Це дає можливість оцінити дії кожного споживача в економії загальної споживаної енергії, порівнюючи отримані результати з проектними показниками,  $Q_{\text{пр}}$ .

В зарубіжній практиці використовується метод однієї змінної [8].

**Метод однієї змінної.** Суть методу полягає в встановленні або вимірюванні одного з параметрів поправочного коефіцієнта, який може змінюватись залежно від допущених споживачем втрат. У цьому випадку такою змінною може бути ефективна температура радіатора  $\theta_{ie\phi}$ .

Аналогічно до виразів (4) і (6) запишемо значення змінного коефіцієнта та витрату за цим коефіцієнтом:

$$K_{i2} = \frac{\lambda_i \cdot S_{ie\phi} \cdot \Delta\theta_2}{q_s \cdot S_{i\text{пр}}} \cdot K'(Q_{\Sigma}) \quad (7)$$

$$Q_{i2} = K_{i2} \cdot q_s \cdot S_{i\text{пр}} \quad (8)$$

де використовується різниця температур  $\Delta\theta_2$  між вимірюваною ефективною температурою радіатора  $\theta_{ie\phi}$  і встановленою температурою приміщення  $\theta_{i\text{пр}}$ .

Результати таких розрахунків для розглянутого прикладу наведені в табл. 3.

Таблиця 3

### Розрахунок витрати за методом змінної ефективної температури радіатора

Параметри	Значення параметрів								Сума
	1	2	3	4	4a	3a	2a	1a	
$\theta_{\text{еф}}, ^\circ\text{C}$	89,17	86,66	84,56	82,17	79,00	75,88	73,36	70,15	
$\Delta\theta_2, ^\circ\text{C}$	72,17	69,66	67,56	65,17	61,00	57,88	55,36	52,15	
Ki2	1,5979	1,1006	1,0593	1,4072	0,9338	0,6537	0,7099	1,1307	
Qi2, Вт	781,32	538,16	517,96	688,06	930,37	651,36	707,31	1126,58	5941,12
$\delta_2, \%$	+0,9	-4,9	-5,5	-3,5	-3,6	-4,2	+8,6	+7,8	

Наведений в табл. 3 діапазон зміни похибок  $\delta$  в межах від -5,5 % до +8,6 % не дає відчутної переваги методів однієї змінної порівняно з методом постійних установлених коефіцієнтів.

Перевірка нуль-гіпотези на рівнозначність отриманих результатів похибок  $\delta_1$  і  $\delta_2$  за критерієм Фішера показала, що

$$F = S^2\delta_1 / S^2\delta_2 = 33,560 / 32,900 = 1,02 < 3,79 = F_{\alpha=0,05; 7,7} \quad (9)$$

$$H_0: S^2\delta_1 \approx S^2\delta_2;$$

дисперсії похибок істотно не відрізняються.

Надалі передбачається розвинути цю ідею при використанні двох і трьох змінних. Попередні дослідження показали, що очікувана похибка не перевищуватиме 4,5 %.

Очевидно, що розглянутими трьома методами розрахунку теплової енергії індивідуальними споживачами не вичерпуються всі можливості раціонального підходу до економії тепла в приміщеннях. Серед можливих інших рішень слід виділити напрям вдосконалення математичної моделі з використанням методу трьох змінних.

1. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – К. 1998. 2. Лозбін В., Столярчук П., Засименко В., Плавинська Т., Яцук В. Методика оцінки індивідуальної витрати теплової енергії для житлових приміщень при традиційних системах тепlopостачання // Тези 3-ї міжн. наук. практ. конф. “Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини”. (СИЭТ-98), Київ, 1998. – Вип.3. – С. 56-58. 3. Лозбін В., Столярчук П., Засименко В., Яцук В., Плавинська Т. Теплотехнічні аспекти обліку витрат теплової енергії індивідуальними споживачами // Вісн. ДУ “Львівська політехніка”. 1999. №365. – С. 88-91. 4. Сканава А.Н. Конструирование и расчет систем водяного и воздушного отопления зданий. – М., 1983. 5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М., 1979. 6. Тимчасові правила обліку відпуску і споживання теплової енергії. – Державний комітет України з житлово-комунального господарства. – К. 1996. 7. Засименко В.М., Лозбін В.О., Столярчук П.Г., Яцук В.О. Рішення на видачу патента по заявці 98105782 від 30.10.98 р. Спосіб визначення спожитої теплової енергії на опалення. 8. Індивідуальні теплотільники. Проспект фірми DOPRIMO. 2000.