

І. А. Пономарчук

Н. М. Слободян

## ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛАНСУ ТЕПЛОНаДХОДЖЕНЬ ЗОН БУДІВЛІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ОРІЄНТАЦІЇ ТА ПЕРІОДУ РОКУ

Вінницький національний технічний університет

*Наведено результати дослідження теплонадходжень зон будівлі в залежності від орієнтації та періоду року. Проведено аналіз можливостей перерозподілу теплонадходжень по зонах будівлі з метою зменшення енерговитрат на забезпечення енергоефективності систем створення мікроклімату в холодний період року.*

**Ключові слова:** тепловий баланс, теплонадходження, мікроклімат, енергоефективність.

### Вступ

Енергетичний баланс поділяється на енергетичний або тепловий баланс рівня будівлі та енергетичний баланс на рівні систем.

Енергопотребу для опалення та охолодження будівлі за явною теплотою розраховують за енергетичним балансом зон будівлі. Ці енергопотреби для опалення та охолодження є вхідними даними для енергетичного балансу систем опалення, охолодження та вентиляції.

Енергетичний (тепловий) баланс рівня зони будівлі включає наступні складові:

- трансмісійну теплопередачу між кондиціонованим об'ємом та зовнішнім навколишнім середовищем, що обумовлена різницею між температурою кондиціонованої зони та температурою зовнішнього повітря;
- вентиляційну теплопередачу (від природної вентиляції або системи механічної вентиляції), спричинену різницею між температурою кондиціонованої зони та температурою припливного повітря;
- внутрішні теплонадходження (включаючи від'ємні надходження від тепловідводу), наприклад, від людей, устаткування, освітлення та теплота, що виділена або поглинута з систем опалення, охолодження, ГВП, вентиляції тощо;
- сонячні теплонадходження (які можуть бути прямими, наприклад, через вікна, або непрямыми, наприклад, поглинені непрозорими елементами будівлі);
- акумульовану теплоту в будівлі або вивільнений запас теплоти з масиву будівлі;
- енергопотребу для опалення: якщо зона опалюється, система опалення постачає теплоту для підвищення внутрішньої температури до мінімально необхідного рівня (завданого для опалення);
- енергопотребу для охолодження: якщо зона охолоджується, система охолодження відбирає теплоту для зниження внутрішньої температури до максимально необхідного рівня (завданого для охолодження).

Для режиму опалення визначається квазістаціонарний метод, за яким тепловий баланс розраховують для періоду в один місяць, що дозволяє взяти до уваги динамічні ефекти за емпірично визначеним коефіцієнтом використання надходжень або втрат.

Помісячний розрахунок дає коректні результати в цілому за рік, але результати для окремих місяців, що межують з початком та закінченням опалювального періоду та періоду охолодження, можуть мати великі відносні помилки.

### Основна частина

Для кожної зони будівлі та для кожного місяця енергопотребу для опалення,  $Q_{H,b}$ , Вт/год, за умови постійного опалення, розраховують за формулою:

$$Q_H = Q_l - \eta_c \cdot Q_c, \quad (2)$$

де  $Q_I$  - енергопотреба для постійного опалення будівлі, Вт/год, повинна бути більше чи дорівнювати 0;

$Q_c$  - сумарна теплопередача в режимі опалення, Вт/год;

$\eta_c$  - безрозмірний коефіцієнт використання тепло надходжень.

Для кожної зони будівлі та для кожного місяця сумарну теплопередачу,  $Q_h$ , Вт/год визначають за формулою:

$$Q_h = Q_{tr} + Q_{ve} \quad (3)$$

де  $Q_{tr}$  - сумарна теплопередача трансмісією, Вт/год;

$Q_{ve}$  - сумарна теплопередача вентиляцією, Вт/год.

Сумарні теплові надходження,  $Q_{gn}$  Вт/год, для кожної зони будівлі для кожного місяця визначають за формулою:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad (4)$$

де  $Q_{int}$  - сума внутрішніх теплонадходжень протягом даного періоду, Вт/год;

$Q_{sol}$  - сума сонячних теплонадходжень протягом даного періоду, Вт/год.

Сумарну теплопередачу трансмісією  $Q_{tr}$ , Вт/год, розраховують для кожного місяця та для кожної зони за формулами:

$$Q_{tr} = H_{tr} (t_{in,z} - t_e) \tau \quad (5)$$

де  $H_{tr}$  - загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією зони, Вт/К, встановлений для різниці температур всередині-ззовні;

$t_{in,z}$  - задана температура зони будівлі для опалення, °С;

$t_e$  - середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С

$\tau$  - тривалість місяцю для якого проводиться розрахунок, год.

Значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією  $Q_{tr}$ , Вт/К, визначається за формулою:

$$H_{tr} = H_E + H_G + H_I, \quad (6)$$

де  $H_E$  - безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

$H_G$  - стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К;

$H_I$  - узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через суміжні об'єми, Вт/К.

В загальному випадку  $H_x$ , що відображає  $H_E$ ,  $H_G$ ,  $H_I$ , складається з трьох доданків та розраховується за формулою:

$$H_x = \left( \sum_i S_i K_i + \sum_k l_k \lambda_k + \sum_j \sigma_j \right) \cdot n_{tr}, \quad (7)$$

де  $S_i$  - площа  $i$ -го елемента оболонки будівлі, м<sup>2</sup>;

$K_i$  - коефіцієнт теплопередачі  $i$ -го елемента оболонки будівлі, Вт/(м<sup>2</sup> · К), що становить  $K_i = 1/R_i$ ;

$R_i$  - опір теплопередачі  $i$ -го елемента оболонки будівлі, м<sup>2</sup> · К/Вт;

$\lambda_k$  - лінійний коефіцієнт теплопередачі  $k$ -го лінійного теплопровідного включення, Вт/(м · К);

$l_k$  - довжина  $k$ -го лінійного теплопровідного включення, м;

$\sigma_j$  - точковий коефіцієнт теплопередачі  $j$ -го точкового теплопровідного включення, Вт/К;

$n_{tr}$  - поправочний коефіцієнт, що становить:

$n_{tr} = 1$  при розрахунках  $H_E$ ;

$n_{tr} < 1$  при розрахунках  $H_G$ ,  $H_I$ .

Сумарна теплопередача вентиляцією через зону будівлі

Сумарну теплопередачу вентиляцією  $Q_{ve}$ , Вт/год, розраховують для кожного місяця та для кожної зони за формулами:

$$Q_{ve} = H_{ve} (t_{in,z} - t_e) \tau, \quad (8)$$

де  $H_{ve}$  - загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$t_{in,z}$  - задана температура зони будівлі для опалення, °С;

$t_e$  - середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

$\tau$  - тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год.

Значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією  $H_{ve}$ , Вт/К, розраховують за формулою:

$$H_{ve} = c_{Va} \left( \sum_k n_{ve,k} \cdot V_{ve,k,s} \right), \quad (9)$$

де  $c_{Va}$  - теплоємність повітря одиниці об'єму, дорівнює  $0,33 \text{ Втгод}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ ;

$V_{ve,k,s}$  - усереднена за часом витрата повітря від  $k$ -го елемента,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$n_{ve,k}$  - температурний поправочний коефіцієнт для  $k$ -го елемента повітряного потоку, зі значенням  $n_{ve,k} < 1$ , якщо температура припливного повітря не дорівнює температурі зовнішнього середовища, як у випадку попереднього нагріву, попереднього охолодження чи утилізації теплоти;

$k$  - представляє кожен із відповідних елементів повітряного потоку, таких як інфільтрація, природна вентиляція, механічна вентиляція тощо.

Усереднену за часом витрату повітря  $k$ -го елемента повітряного потоку  $V_{ve,k,s}$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ , розраховують за формулою:

$$V_{ve,k,s} = x_{ve,k} \cdot V_{ve,k}, \quad (10)$$

де  $V_{ve,k}$  - витрата повітря від  $k$ -го елемента,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$x_{ve,k}$  - частка роботи  $k$ -го елемента повітряного потоку, розрахована як частка від загальної кількості годин на добу.

При вентиляції без попереднього підігріву та без утилізації теплоти температуру припливного повітря приймають рівною середньомісячній температурі зовнішнього середовища. Внаслідок цього, температурний поправочний коефіцієнт для витрати потоку повітря від зовнішнього середовища дорівнює одиниці.

Теплоутилізаційна установка, за наявності, є, зазвичай, важливим елементом теплового балансу зони будівлі, що в значній мірі впливає на використання теплових надходжень та зменшення витрат на опалення та охолодження. З цієї причини ефект використання теплоутилізаційних установок повинен враховуватися в розрахунках енергопотребителів для опалення та охолодження та не може визначатися лише окремим корегувальним коефіцієнтом.

Температурний поправочний коефіцієнт  $x_{ve,k}$  для потоку повітря від теплоутилізаційної установки визначають за формулою:

$$x_{ve,k} = (1 - x_{ve,u,k} \cdot \eta_{u,k}) \quad (11)$$

де  $\eta_{u,k}$  - ефективність теплоутилізаційної установки  $k$ -го елемента, що визначають за результатами розрахунків відповідно до стандартів по системам вентиляції, випробувань;

$x_{ve,u,k}$  - частка повітряного потоку  $k$ -го елемента, що розглядається, яка проходить через теплоутилізаційну установку.

Якщо відповідний стандарт по системам вентиляції, проектні дані, результати випробувань або інші джерела, надають температуру припливного повітря замість ефективності теплоутилізаційної установки, ефективність  $\eta_{u,k}$  отримують з наступного перетворення за формулою:

$$\eta_{u,k} = \frac{(t_{sup,k} - t_e)}{(t_{in} - t_e)}, \quad (2)$$

де  $t_{sup,k}$  - температура припливного повітря з теплоутилізаційної установки,  $^{\circ}\text{C}$ , отримана з відповідного стандарту по системам вентиляції, проектних даних, результатів випробувань або іншого джерела;

$t_{in}$  - задана температура зони будівлі для опалення чи охолодження,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_e$  - середньомісячна температура зовнішнього середовища,  $^{\circ}\text{C}$ .

Внутрішні теплонадходження, теплонадходження від внутрішніх теплових джерел, включаючи від'ємні теплонадходження (розсіяна теплота від внутрішнього середовища до холодних джерел або «стоки»), складаються з будь-якої теплоти, що створюється в кондиціонованому об'ємі внутрішніми джерелами, крім тої, що навмисно використовується для опалення, охолодження або ГВП.

Внутрішні теплонадходження включають:

- метаболічну теплоту від людей та розсіяну теплоту від обладнання;
- теплоту, розсіяну від освітлювальних приладів;
- теплоту, розсіяну від або поглинуту системами гарячої і водопровідної води та каналізації;
- теплоту, розсіяну від або поглинуту системами опалення, охолодження та вентиляції;

– теплоту від або до процесів та продукції.

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі, що розглядається,  $Q_{in,k}$ , Вт/год, для визначеного місяця розраховують за формулою:

$$Q_{in,k} = \left( \sum_k q_{in,k} \cdot S_f \right) \cdot \tau, \quad (13)$$

де  $q_{in,k}$  - усереднений за часом тепловий потік від  $k$ -го внутрішнього джерела, Вт/м<sup>2</sup>;

$S_f$  - кондиціонувана площа зони будівлі, м<sup>2</sup>;

$\tau$  - тривалість періоду використання, виражена у годинах на місяць.

До уваги прийняті наступні теплонадходження:

- Внутрішній тепловий потік від людей  $q_{in,p}$ ;
- Внутрішній тепловий потік від обладнання  $q_{in,o}$ ;
- Внутрішній тепловий потік від освітлення  $q_{in,l}$ .

Сонячна інсоляція

Джерелом теплових надходжень від сонця є сонячна радіація, режим якої характерний у даній місцевості, та визначається орієнтацією сприймаючих поверхонь, постійним чи рухомим затіненням, пропусканням та поглинанням сонячної енергії й характеристиками теплопередачі сприймаючих поверхонь. Коефіцієнт, що включає характеристики та площу сприймаючих поверхонь (включно з впливом затінення), називається еквівалентною площею інсоляції.

Загальні сонячні теплонадходження

Теплонадходження від сонця до зони будівлі, що розглядається, для кожного місяця  $Q_{so,k}$ , Втгод, розраховують за формулою:

$$Q_{so,k} = \tau \cdot \sum_k q_{so,k}, \quad (14)$$

де  $q_{so,k}$  - усереднений за часом тепловий потік від  $k$ -го джерела сонячного випромінювання, Вт;

$\tau$  - тривалість місяця, що розглядається, виражена у годинах.

Сонячні теплонадходження визначають, базуючись на еквівалентних площах інсоляції відповідних світлопрозорих елементів будівлі та на поправках до затінення сонця зовнішніми перешкодами, також необхідним є коригування для теплової радіації до атмосфери.

Розрахунок теплового балансу зон будівлі виконано в табличній формі, дані виконаних розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 1

**Баланс питомих тепло надходжень по зонах будівлі з різною орієнтацією.**

Місяць	Питомі тепло надходження, кВт·год/м <sup>3</sup> при орієнтації			
	ПН	СХ	ПД	З
1	-13,8	-12,8	-8,7	-12,5
2	-10,6	-8,9	-4,5	-8,6
3	-7,3	-4,1	0,2	-3,6
4	-1,6	3,3	5,2	2,9
5	4,2	11,1	10,1	10,1
6	7,2	13,4	12,	12,2
7	7,9	14,6	12,7	13,7
8	5,1	13,1	13,4	11,3
9	-0,1	5,9	10,5	5,3
10	-5,1	-1,9	3,87	-2,1
11	-9,7	-8,5	-5,2	-8,5
12	-13,1	-12,3	-9,3	-12,3

За даними табл. 1 побудовано графік залежності теплового балансу зон будівлі в залежності від орієнтації та місяців року.

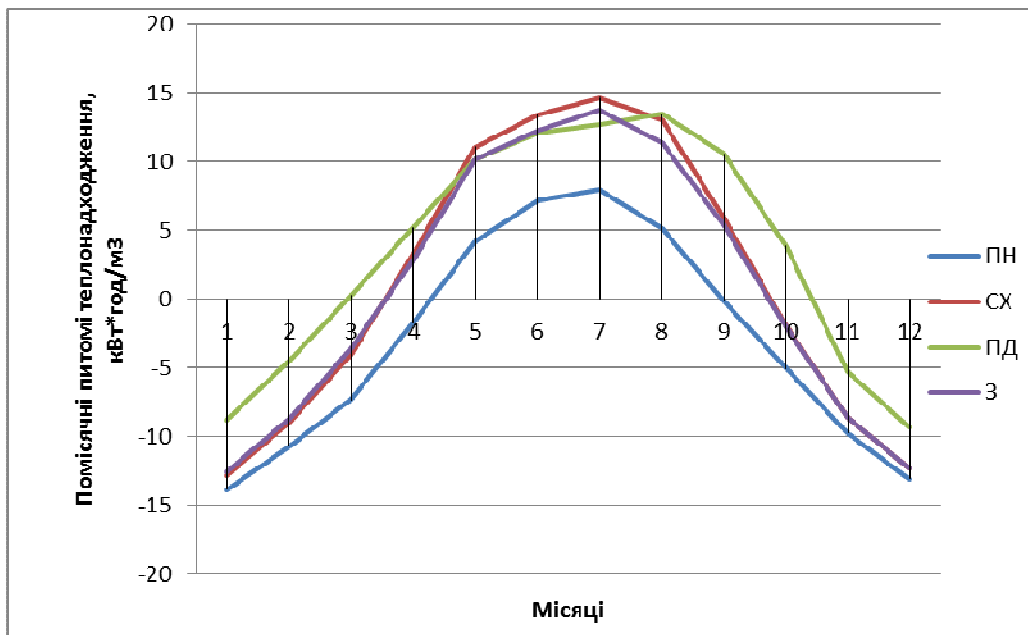


Рис. 1. Графік залежності помісячного питомого теплового балансу зон будівлі в залежності від орієнтації та місяців року

Аналіз графіку залежності помісячного питомого теплового балансу зон будівлі в залежності від орієнтації та місяців року вказує, що можливий перерозподіл теплонадходжень з приміщень південної зони, для компенсації тепловтрат, в приміщення північної зони, для перехідних періодів року.

Кількість перерозподілених теплонадходжень можна визначити за середніми питомими помісячними тепло надходженнями  $3 \text{ кВт*год/м}^3$  на протязі 90 діб перехідного періоду. Таким чином за рік, використовуючи перерозподіл теплонадходжень з приміщень південної зони, для компенсації тепловтрат, в приміщення північної зони, можливе збереження  $6570 \text{ кВт*год/м}^3$  теплової енергії.

### Висновки

- За результати дослідження теплонадходжень зон будівлі в залежності від орієнтації та періоду року проведено аналіз можливостей перерозподілу теплонадходжень по зонах будівлі з метою зменшення енерговитрат на забезпечення енергоефективності систем створення мікроклімату в холодний період року для типового житлового будинку в 1-й кліматичній зоні;
- визначено кількісно можливе енергозбереження за рахунок використання перерозподілу теплонадходжень з приміщень південної зони, для компенсації тепловтрат, в приміщення північної зони.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б А 2.2-12-2015. Енергетична ефективність будівель. – К.: Мінрегіонбуд України, 2015. - 197 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря. – К.: Мінрегіонбуд, 2013. - 141 с.
3. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Держкомбуд, 2006. – 69 с.

**Пономарчук Ігор Анатолійович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету.

**Слободян Наталія Михайлівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерних систем у будівництві Вінницького національного технічного університету.

**I. Ponomarchuk**

**N. Slobodyan**

## **STUDY OF THERMAL BALANCE REVENUE BUILDING ZONES DEPENDING ON THE ORIENTATION AND YEAR PERIOD**

Vinnytsia National Technical University

*The results of studies of heat flow areas of the building depending on the orientation and period of the year. The analysis of the redistribution of heat flow in zones of buildings to reduce energy consumption and energy efficiency systems create a microclimate during the cold period of the year.*

**Key words:** heat balance, heat flow, microclimate, energy efficiency.

**Ponomarchuk Igor** – candidate of technical Sciences, associate Professor, Professor of engineering systems in the construction of the Vinnytsia national technical University.

**Slobodyan Nataliya** – candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of engineering systems in the construction of the Vinnytsia national technical University.

**И. А. Пономарчук**

**Н. М. Слободян**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ БАЛАНСА ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ЗОН ЗДАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОРИЕНТАЦИИ И ПЕРИОДА ГОДА**

Винницкий национальный технический университет

*Приведено результаты исследований теплопоступлений зон здания в зависимости от ориентации и периода года. Проведено анализ возможностей перераспределения теплопоступлений по зонам здания с целью уменьшения энергозатрат и обеспечения энергоэффективности систем создания микроклимата в холодный период года.*

**Ключевые слова:** тепловой баланс, теплопоступления, микроклимат, энергоэффективность.

**Пономарчук Игорь Анатольевич** – к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерных систем в строительстве Винницкого национального технического университета.

**Слободян Наталья Михайловна** – к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерных систем в строительстве Винницкого национального технического университета.