

УДК 620.98

## ПОТРЕБА НА ОПАЛЕННЯ БУДІВЛІ ТА ЕКСЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ

Дешко В.І., проф., доктор техн. наук, Буяк Н.А.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», вул. Борицагівська, 115, Київ, 03056, Україна*

Розроблено регресійну модель для визначення комфортної температури повітря у кімнаті відповідно до ексергетичного підходу, яка залежить від параметрів людини та будівлі. Визначено вплив на потребу на опалення факторів, що залежать від людини та будівлі, із застосуванням енергетичного та ексергетичного підходів до комфортних умов у приміщенні.

Бібл. 8, табл. 1, рис. 3.

**Ключові слова:** ексергія, тепловий комфорт, потреба на опалення, середня радіаційна температура. $I$  – Термічний опір $M$  – метаболізм; $n$  – Кратність повітрообміну; $P$  – теплова потужність, Вт; $PMV$  – Прогнозована середня оцінка тепловідчуттів людини; $Q$  – кількість теплоти, кВт·год; $\bar{R}$  – Термічний опір; $t$  – температура, °С; $\bar{X}$  – кодоване значення змінної;

Разработана регрессионная модель для определения комфортной температуры воздуха в комнате в соответствии с эксергетическим подходом, которая зависит от параметров человека и здания. Определено влияние на потребность на отопление факторов, зависящих от человека и здания, с применением энергетического и эксергетического подходов к комфортным условиям в помещении.

Developed regression model to determine a comfortable temperature in the room under exergy approach that vary depending on the person and buildings. The influence for building heating need of factors that depend on humans and buildings using energy and exergic approach to comfort indoors are identified.

 $\phi$  – відносна вологість повітря.**Нижні індекси:**

1 – первинне паливо;

2 – вхід у будівлю;

3 – інші;

4 – огорожувальні конструкції;

5 – вентиляція;

s – внутрішній;

h – зовнішній.

Житловий сектор України споживає приблизно 30 % від загального кінцевого енергоспоживання [1]. У порівнянні з багатьма європейськими країнами має місце проблема низької ефективності використання теплової енергії на опалення в житловому фонді. Питання комплексного підходу до будівлі висвітлено у працях наступних дослідників [2–4]. Також розглянути будівлю у комплексі з огорожувальними конструкціями із застосуванням ексергетичної концепції запропоновано [4–6]. Включення до складу цієї системи нового елемента у вигляді моделі теплового комфорту є дуже важливим кроком, а у зв'язку із величезним різноманіттям підходів і не легким.

**Постановка задачі**

Мета даного дослідження – оцінити вплив факторів системи в яку входять будівля та людина на потребу на опалення та на температурні умови у приміщенні.

Загалом потоки енергії доцільно досліджувати для складної системи рис. 1. «джерело теплоти – людина – огорожувальні конструкції будівлі». У даній роботі аналізується та визначається потреба на опалення  $Q_2$ . Споживання первинного палива  $Q_1$  системою може розраховуватися за допомогою перевірених коефіцієнтів, що є різними для різних джерел тепла та у різних країнах

та місцевостях приймаються різними. Дані коефіцієнти залежать від ефективності джерела тепла, системи розподілу енергії та інженерних систем будівлі.

Потреба на опалення залежить від теплового заохисту будівлі, параметрів зовнішнього середовища та мікроклімату у приміщенні. Комфортні умови у приміщенні визначаються різними параметрами: температура повітря, середня радіаційна температура, відносна вологість та швидкість руху повітря. В даній роботі розглянемо температуру повітря у кімнаті, на основі якої проектується система опалення і яка є такою основою визначення комфортності. Але на даний час існують різні моделі теплового комфорту людини, обрано ексергетичну, що визначає мінімум споживання ексергії людським тілом, як найкращі умови функціонування людини, як термодинамічної системи. Для визначення температури повітря у кімнаті, що відповідає мінімуму споживання ексергії людським тілом обрано віртуальну модель людини та кімнати. Базові параметри віртуальної моделі людини, кімнати та оточуючого середовища представлені у таблиці 1. Останні в наведених умовах прийняті сталими, але загалом можуть мати значення осереднення у часі, відповідно до прийнятих інтервалів для умов України.

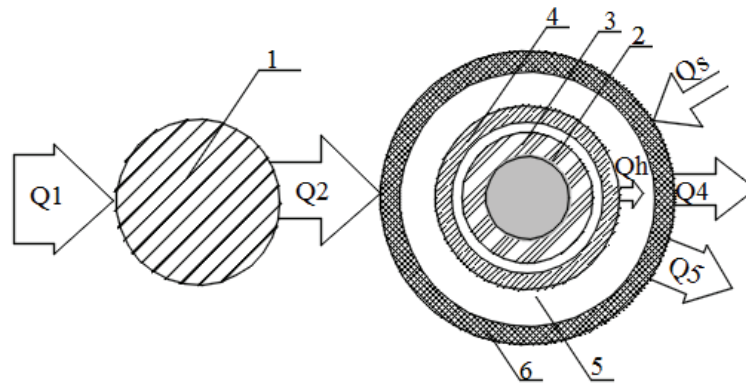


Рис. 1. Модель дослідження «джерело теплоти – людина – огороджувальні конструкції»: 1 – генерація; 2 – ядро; 3 – оболонка; 4 – одяг; 5 – повітря в кімнаті; 6 – огороження будівлі.

Табл.1. Базові параметри моделі дослідження

Віртуальна модель людини	
Теплоізоляція одягу, м <sup>2</sup> ·°C/Вт	0,155
Метаболізм Вт/м <sup>2</sup>	60
Механічна робота Вт/м <sup>2</sup>	0
Віртуальна модель кімнати	
Площа зовнішньої стіни Fz, м <sup>2</sup>	6,25
Площа вікна Fv, м <sup>2</sup>	3,75
Площа внутрішніх огороджувальних конструкцій, м <sup>2</sup>	62
Термічний опір зовнішньої стіни Rz, м <sup>2</sup> ·°C/Вт	3,3
Термічний опір вікна Rv, м <sup>2</sup> ·°C/Вт	0,75
Кратність повітрообміну n, год <sup>-1</sup>	1
Параметри внутрішнього та зовнішнього (оточуючого) середовища	
Температура повітря зовнішнього середовища T <sub>o</sub> , К	273
Відносна вологість зовнішнього середовища φ <sub>o</sub> , %	78
Відносна вологість повітря в кімнаті, φ <sub>v</sub> , %	50
Атмосферний тиск, Па	101325
Середня потужність надходження сонячної радіації на вертикальну поверхню Вт/м <sup>2</sup>	30

За допомогою комп'ютерної моделі, що ґрунтується на ексергетичній моделі людини [7] для отримання регресійної моделі проведено повний факторний експеримент типу  $p^k$ , де число факторів  $k=5$ , число рівнів  $p=2$ , число дослідів  $N=2^5=32$ . Рівняння регресії для ексергетичної моделі без врахування сумісного впливу факторів, на основі результатів експерименту, для кодіваних значень факторів матиме наступний вигляд:

$$t_{comf} = -4,47 \cdot \bar{X}_{t_r} - 0,57 \cdot \bar{X}_{t_0} - 4,43 \cdot \bar{X}_M - 5,84 \cdot \bar{X}_{I_{clo}} - 0,39 \cdot \bar{X}_{\varphi} + 21,53 \quad (1)$$

Коефіцієнт кореляції:  $R = 0,96$ , коефіцієнт детермінації:  $R^2 = 0,92$ , нормований  $R^2 = 0,9$ , критерій Фішера:  $F_{спост} = 85,36$ ,  $F_{кр} = 3,35$ , оскільки  $F_{спост} > F_{кр}$ , то рівняння регресії є статистично значущим. Критерій Стьюдента:  $t_{b0} = 56,29$ ,  $t_{b1} = -11,04$ ,  $t_{b2} = -1,27$ ,  $t_{b3} = -10,48$ ,  $t_{b4} = -14,19$ ,  $t_{b5} = -0,8$ ,  $t_{табл} = 0,69$ . Оскільки всі критерії Стьюдента більші за величину  $t_{табл}$ , тому всі коефіцієнти є статистично значущими. Використання рівняння регресії (1) значно спростить розрахунки потреби на опалення. Така модель показує, що вплив факторів на комфортну температуру повітря, відповідно до ексергетичного підходу зростає у наступному ряді:

відносна вологість повітря, температура зовнішнього повітря, вид діяльності людини, середня радіація температура, тип одягу людини відповідно.

Визначення потреби на опалення проводиться через розрахунок теплового балансу приміщення при певних значеннях температур внутрішнього та зовнішнього повітря та рівня теплового захисту. Ці умови визначають також і рівень радіаційної температури. Усе це обумовлює багатofакторний зв'язок між потребою на опалення та рівнем комфортності. На рис. 2 відображено моделювання впливу факторів, що залежать від людини, параметрів будівлі та зовнішнього середовища на потребу на опалення. Яка визначалася для мінімального та максимального значення параметра, при базових інших факторах. Суттєво знижують потребу на опалення параметри оточуючого середовища, а саме температура

зовнішнього повітря та надходження сонячної радіації.

Результати розрахунку чутливості потреби на опалення до впливу різних факторів за умови, що значення інших факторів є базовими представлено на рис. 3. Встановлено, що вплив на потребу на опалення для енергетичної моделі теплового комфорту спадає у наступному ряді факторів: температура зовнішнього повітря, рівень метаболізму, тип одягу людини, надходження сонячної радіації, термічний опір огорожувальних конструкцій та відносна вологість повітря відповідно. Вплив на потребу на опалення спадає у наступному ряді факторів для енергетичної моделі: температура зовнішнього повітря, вид діяльності, надходження сонячної радіації, тип одягу людини, термічний опір огорожувальних конструкцій, PMV та відносна вологість у приміщенні відповідно.

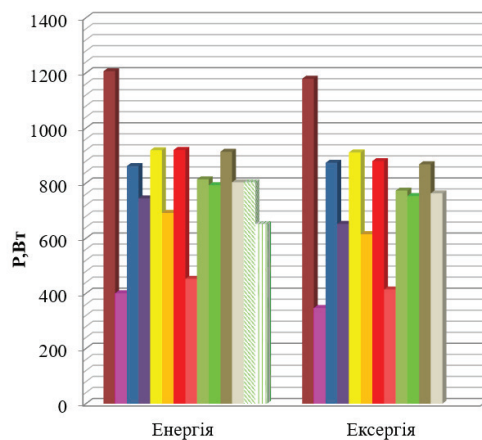


Рис. 2. Вплив діапазону зміни факторів на потребу на опалення для енергетичного та ексергетичного підходу щодо забезпечення комфортних умов

- – температура зовнішнього повітря = 263 К; ■ – температура зовнішнього повітря = 283 К;
- –  $M=50 \text{ Вт/м}^2$ ; ■ –  $M=70 \text{ Вт/м}^2$ ; ■ –  $I_{clo}=0,0775 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ; ■ –  $I_{clo}=0,2325 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ; ■ –  $P_s=0$ ; ■ –  $P_s=120 \text{ Вт/м}^2$ ;
- – відносна вологість 40 %; ■ – відносна вологість 60 %; ■ –  $R_z=0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;
- –  $R_z=3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ; ■ –  $PMV=0$ ; ■ –  $PMV=-1$ .

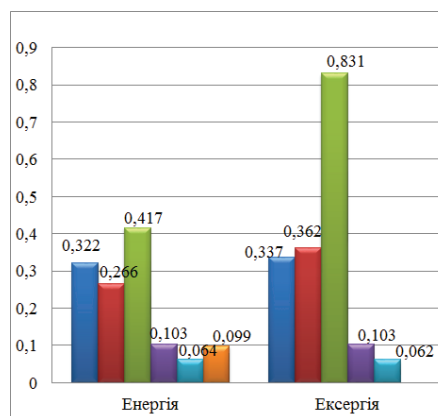


Рис. 3. Аналіз чутливості потреби на опалення до факторів, що залежать від людини та параметрів будівлі:

- – потужність надходження сонячної радіації; ■ – термічний опір одягу людини; ■ – метаболізм;
- – термічний опір огорожувальних конструкцій; ■ – відносна вологість; ■ – PMV.

Запропонований розрахунок потреби на опалення, із врахуванням моделі теплового комфорту людини дозволить визначити за допомогою перевідних коефіцієнтів для різних джерел тепла споживання первинного палива системою джерело тепла – людина – огорожувальні конструкції, із врахуванням сучасних вимог до мікроклімату у приміщеннях.

#### Висновки

1) на основі енергетичної та ексергетичної математичної моделі людини розроблено регресійну модель для визначення комфортної температури повітря у кімнаті, такий підхід значно спрощує використання подібних моделей для проектування та регулювання роботи систем опалення.

2) За допомогою регресійної моделі встановлено, що найвищий вплив на комфортну температуру повітря у приміщенні відповідно до ексергетичного підходу має тип одягу людини, далі середня радіаційна температура, вид діяльності людини, температура зовнішнього повітря, відносна вологість повітря відповідно.

3) моделювання впливу різних факторів на потребу на опалення показало, що найвищий вплив на потребу на опалення при використанні енергетичного підходу до комфортних умов має температура зовнішнього повітря, далі вид діяльності, надходження сонячної радіації, тип одягу людини, PMV та відносна вологість повітря у кімнаті відповідно. При застосуванні ексергетичного підходу найвищий вплив – температури зовнішнього повітря, а найнижчий у відносній вологості повітря у кімнаті.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Житловий фонд України. Офіційний [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.iea.org/statistics/>
2. Табунщиков А. Ю. Энергоэффективные здания и инновационные инженерные системы [Текст] / А. Ю. Табунщиков. // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2014. – № 1. – С. 6–11.
3. Чуприна Х. М. Интегрирована єдина енергетична модель будівлі [Текст] / Х. М. Чуприна // Управління розвитком складних системи. – 2014. – №17 – С. 125–131.
4. Baldi M. G. Thermal Exergy Analysis of a Building [Text] / M. G. Baldi, L. Leoncini. // Energy Procedia. – 2014. – V. 62. – P. 723–732.
5. Balta T., Kalinci Y., Hepbasli A. Evaluating a low exergy heating system from the power plant through the heat pump to the building envelope [Text] // Energy & Buildings. – 2008. – V. 40. – P. 141–147.
6. Yan Z. Exergy analysis of the building heating and cooling system from the power plant to the building envelop with hourly variable reference state [Text] / Z. Yan, G. Guangcai. // Energy and Buildings. – 2013. – V. 56. – P. 94–99.
7. Deshko V. A model of human thermal comfort for analyzing the energy performance of buildings. [Text] / V. I. Deshko, N. A. Buyak // Eastern European journal of enterprise technologies. – 2016. – V. 4/8 (82). – P. 42–47.

## HEATING BUILDING NEED AND EXERGY THERMAL COMFORT MODEL

**Deshko V. I., Buyak N. A.**

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Str. Borshchagivska 115, Kyiv, 03056, Ukraine

The influence of parameters that depend on the human for the building heating need, using exergy concept of modeling heat transfer processes is presented. Regression dependence for comfort temperature according to the exergy concept is developed. Calculation of sensitivity for heating need of various factors, provided that the value of other factors are basic for exergy thermal comfort model comes in the next several factors:  $t_0$ ,  $M$ ,  $I_{clo}$ , incoming solar radiation, thermal resistance of building envelope and  $\varphi$  respectively. The proposed calculation of heating needs, taking into account human thermal comfort models will be determined by the conversion factor for different heat sources of primary fuel system "heat source – human – building envelope", taking into account modern requirements to microclimate in the premises. References 7, tables 1, figures 5.

Keywords: exergy, thermal comfort, the need for heating, the average radiation temperature

1. *Zhytlovyi fond Ukrainy*. Ofitsiyni [Living fund of Ukraine. Official]. – Rezhym dostupu [Available at]: <http://www.iea.org/statistics/> (Ukr).

2. *Tabunshchikov, Yu.* Jenergojeffektivnye zdaniya i innovacionnye inzhenernye sistemy [Energy-efficient buildings and innovative engineering systems]. Ventilyatsiya, otopleniye, konditsionirovaniye vozdukh, teplosnabzheniye i stroitel'naya teplofizika [Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermal physics], 2014, V.1, P. 6–11. (Rus)

3. *Chupryna Kh. M.* Intehrovana yedyna enerhetychna model budivli [The integrated single energy model building], Upravlinnia rozvytkom skladnykh system [Managing the development of complex systems], 2014, V. 17, P. 125–131. (Ukr).

4. *Baldi M. G.* Thermal Exergy Analysis of a Building, *Energy Procedia*, 2014, V. 62, P. 723–732.

5. *Balta T., Kalinci Y., Hepbasli A.* Evaluating a low exergy heating system from the power plant through the heat pump to the building envelope, *Energy & Buildings*, 2008, V. 40, P. 141–147.

6. *Yan Z.* Exergy analysis of the building heating and cooling system from the power plant to the building envelop with hourly variable reference state, *Energy and Buildings*, 2013, V. 56, P. 94–99.

7. *Deshko V.* A model of human thermal comfort for analyzing the energy performance of buildings, *Eastern European journal of enterprise technologies*, 2016, V. 4/8 (82), P. 42–47.

Получено 09.11.2017

Received 09.11.2017