

ДЕШКО В. І., доктор техн. наук, професор

БУЯК Н. А., канд. техн. наук

БІЛОУС І. Ю., канд. техн. наук

ГУРЕЄВ М. В., магістр

ГОЛУБЕНКО О. О., магістр

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,
м. Київ

ВПЛИВ ТЕПЛОІНЕРЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ОГОРОДЖЕНЬ НА УМОВИ КОМФОРТНОСТІ ПІД ЧАС ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ В ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ

***Анотація.** Проаналізовано зміну енергопотреби та показників теплового комфорту для репрезентативних приміщень з різним тепловим захистом, орієнтацією та за умови застосування енергоощадних режимів опалення. Представлено залежність між зміною індексу теплового комфорту та параметрів довкілля.*

***Ключові слова:** енергопотреба, умови комфорту, радіаційна температура, переривчасте опалення.*

***Abstract.** The energy demand and thermal comfort indicators are analyzed for representative premises with different thermal protection, orientation and subject to the use of energy-saving heating modes. The relationship between the change in the index of thermal comfort and environmental parameters is presented.*

***Keywords:** energy need, comfort conditions, radiation temperature, intermittent heating.*

Від якості мікроклімату у приміщеннях залежить продуктивність праці та комфорт мешканців, який визначається суб'єктивними та об'єктивними параметрами, а відповідно до обраної моделі теплового комфорту розрізняють ще й різні показники. Забезпечення та оцінка комфортних умов є актуальним питанням і в Україні регламентується такими стандартами [1–3], на основі яких розраховують індекс теплового комфорту PMV (індекс теплового комфорту людини), PPD (прогнозований процент незадово-

лених тепловим середовищем) та визначають категорію будівлі щодо забезпечення комфортних умов.

Енергоспоживання будівлі залежить від різних чинників, а рівень комфорту визначається на основі температури повітря у приміщенні. Таке уявлення покладено в основу стандартів з енергоефективності. Однак температура у приміщенні не завжди адекватно відображує почуття теплового комфорту. В останні десятиліття стрімко зростає кількість праць, присвячених питанню теплового комфорту [4, 5]. Особлива увага приділяється адаптивним моделям [6] та ексергетичному підходу до теплового комфорту [7]. Об'єктивною є необхідність поглиблення вивчення та міждисциплінарний підхід до вивчення тепловідчуттів людини та забезпечення належного рівня теплового комфорту. Такі дослідження є кроком уперед у вирішенні питання забезпечення належного рівня теплового комфорту під час створення енергоефективних будівель.

Метою роботи є аналіз впливу на індекс теплового комфорту (PMV) змінення параметрів теплоізоляційної оболонки зовнішніх стін, які мають різну географічну орієнтацію, за умов використання переривчастих режимів опалення при застосуванні динамічного моделювання теплоенергетичних процесів в будівлі.

Для дослідження будівлі створено динамічні імітаційні моделі кімнат з певними теплофізичними властивостями огорожень, які орієнтовані на північну (Пн) та південну (Пд) сторони. Розміри кімнати $5,5 \times 6,1$ м, висота приміщення 3,2 м, коефіцієнт засклення 0,4. Кімната має одну зовнішню стіну довжиною 5,5 м та вікно, яке обладнане двокамерним металопластиковим склопакетом з повітряним заповненням. Несуча частина зовнішньої стіни виконана з цегельної кладки в дві цегли (500 мм). Несуча частина внутрішніх стін виконана з цегляної кладки в півцегли. Перекриття над опалювальними приміщеннями є залізобетонні товщиною 20 см. Вентиляція — природна з кратністю повітрообміну 1 год^{-1} . Шар утеплювача — 10 см. Система опалення повітряна. В дослідженні використано погодинні кліматичні дані типового року міжнародного погодного файлу IWEC для умов міста Києва, які представлені в розширенні «EPW» для легкої синхронізації з імітаційною моделлю, яку розроблено з використанням програмного продукту EnergyPlus. Суб'єктивні параметри комфортності, які впливають на PMV, прийнято такі: термічний опір одягу людини $I_{\text{clo}} = 0,155$ ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$); активність людини (метаболізм) $M = 70$ ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

1. Енергопотреба та навантаження на систему опалення для різних графіків температури у приміщенні

На рис. 1 наведено річну енергопотребу на опалення у репрезентативних приміщеннях новобудов та старих будівель з різними графіками регулювання температури повітря в кімнаті (провал) та без регулювання.

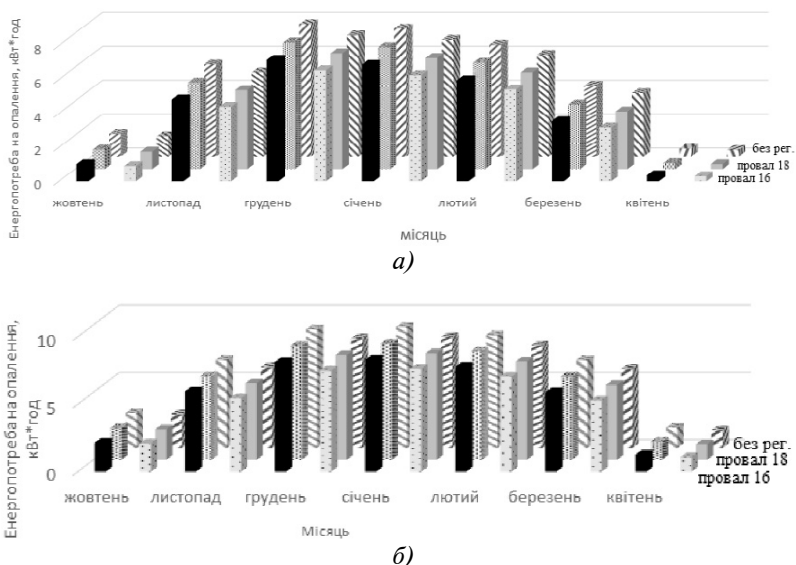


Рис. 1. Енергопотреба на опалення у впровадженні переривчастих режимів опалення для приміщень, орієнтованих на південь (а) та північ (б):

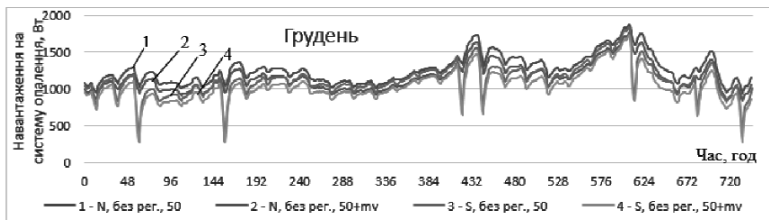


— товщина несучого шару червоної цегли 50 см;
 — товщина несучого шару червоної цегли 50 см та наявність утеплювача мінеральна вата 10 см; без рег. — без регулювання опалення, температура в приміщенні 20°C; провал 16 та 18 — рівень температури в неробочі години у впровадженні переривчастих режимів опалення, °C.

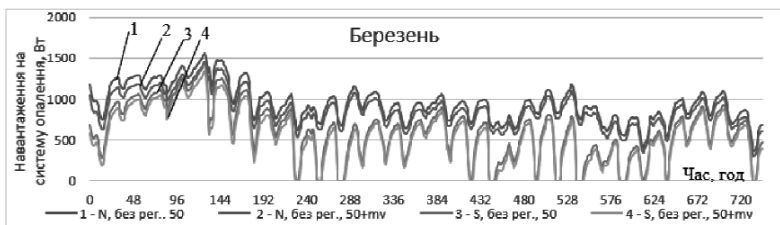
З рис. 1 випливає, що енергопотреба на опалення для зимових місяців відрізняється для північної (Пн) та південної (Пд) орієнтацій на (15—20) %, для більш теплих місяців опалювального сезону така відмінність більша та знаходиться в межах (40—65) %.

Впровадження переривчастих режимів опалення призводить до зменшення споживання тепла до 13 % упродовж усього опалювального періоду. Для зимового періоду року така економія становить (8—10) %, а для періоду міжсезоння до 25 %.

Для детального аналізу погодинних коливань навантаження виділено два місяці: для холодного періоду року з низькою сонячною активністю — грудень (рис. 2, *а*), для періоду міжсезоння — березень (рис. 2, *б*).



а)



б)

Рис. 2. Навантаження на систему опалення для грудня (*а*) та березня (*б*): S — приміщення орієнтовані на південь; N — приміщення орієнтовані на північ

Для північної орієнтації та безсонячних днів будь-якої орієнтації нанесення утеплювача більш відчутно впливає на навантаження в системі опалення. На рис. 2*а* разові суттєві зниження навантаження для південної орієнтації пояснюються одноденними сплесками сонячної активності. На рис. 2*б* для південної орієнтації для теплих місяців опалювального періоду характерні часті короткострокові відключення опалення.

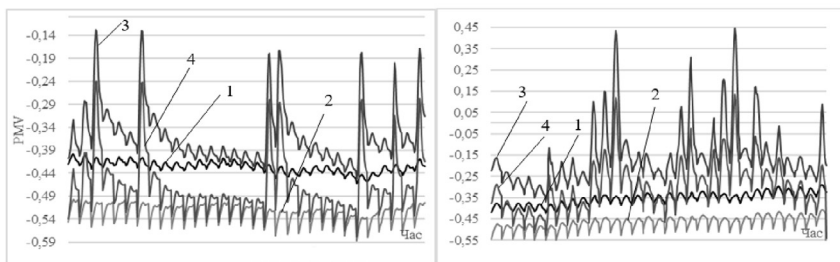
2. Індекс теплового комфорту за різних температурних режимів у приміщенні

Індекс теплового комфорту PMV розраховано для робочих годин опалювального періоду в репрезентативних приміщеннях із зовнішніми стінами, орієнтованими на Пн та Пд, під час застосування енергоощадних режимів опалення. PMV для зимових місяців має середнє значення на рівні — (0,4—0,5) з погодинними збільшеннями амплітуди коливань у період міжсезоння до 0,9—1,1.

Амплітуди коливань у період міжсезоння для Пн орієнтації є від'ємні, для Пд — додатні. Крім того, для Пд орієнтації спостерігаються окремі піки PMV для всього холодного періоду в сонячні години.

Впровадження переривчастих режимів опалення призводить до зменшення споживання тепла та зниження PMV у середньому на 20 %. Для зимового періоду зниження PMV становить (18—25) %, для періоду міжсезоння до 100 %. Встановлення додаткового шару теплоізоляції підвищує PMV на (5—40) % для стіни Пн орієнтації та на (6—80) % для Пд орієнтації.

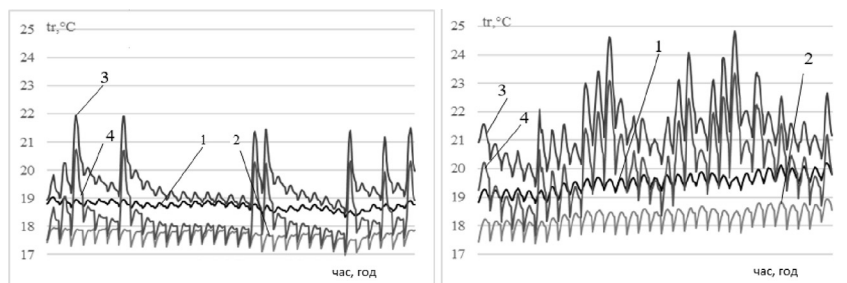
Для детального аналізу погодинних коливань PMV та середньої радіаційної температури t_r виділено два місяці: для холодного періоду року з низькою сонячною активністю — грудень (рис. 3, 4а), для періоду міжсезоння — березень (рис. 3, 4б).



а)

б)

Рис. 3. Значення PMV у грудні (а) та березні (б) в робочі години з 8 до 20.00:
Пн — 1 — без регулювання; — 2 — провал 16°C; Пд — 3 — без регулювання; — 4 — провал 16°C



а)

б)

Рис. 4. Середня радіаційна температура повітря у грудні (а) та березні (б) в робочі години з 8 до 20.00:

Пн — 1 — без регулювання; — 2 — провал 16°C; Пд — 3 — без регулювання; — 4 — провал 16°C

Аналіз даних рис. 3, 4 показує, що зміни PMV під час розгляду приміщень різної орієнтації викликані зменшенням середньої радіаційної температури для Пн, а під час застосування енергоощадних режимів опалення ще й впливом на радіаційну температуру в робочі години зниження температури повітря у приміщенні в неробочі години. У грудні найнижчі значення PMV становить мінус 0,59, що зумовлено зниженням середньої радіаційної температури до 17°C, а найвищі — мінус 0,13 за температури $t_r = 22^\circ\text{C}$. Отже у грудні регулювання для приміщення із Пн орієнтацією зумовлює зниження PMV на (16—24) %, а з Пд сторони на (16—64) %. У березні найнижчі значення PMV досягають мінус 0,55, за $t_r = 17,5^\circ\text{C}$, а найвищі — 0,45, за $t_r = 25^\circ\text{C}$. Такі показники зумовлено надходженням сонячного випромінювання та дає можливість у приміщеннях Пд орієнтації впровадити додаткове зниження температури повітря в приміщенні у години максимуму сонячних надходжень без погіршення умов теплового комфорту.

Висновки

Проведено дослідження енергопотребі будівлі та індексу теплового комфорту для утепленого та неутепленого репрезентативних приміщень з орієнтацією зовнішніх стін на південь і північ за умови застосування енергоощадних режимів опалення на основі динамічної енергетичної моделі, створеної в програмному продукті EnergyPlus. Отримано такі результати:

- впровадження переривчастих режимів опалення призводить до зменшення споживання тепла до 13 % для всього опалювального періоду. Для зимового періоду року економія становить (8—10) %, для періоду міжсезоння — до 25 %.
- впровадження переривчастих режимів опалення призводить не лише до зменшення споживання тепла, а й до зниження від'ємних PMV в середньому на 20 %, не виходячи з допустимого діапазону умов комфортності (0,5—0,5). Для приміщень з південною орієнтацією в період міжсезоння можливо додаткове зниження рівня опалення зі збереженням PMV у діапазоні умов комфортності.
- встановлення додаткового шару теплоізоляції підвищує умови комфортності за показником PMV, особливо для стін з північною орієнтацією.

Література

1. ДСТУ Б EN 15251: 2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики будівель. [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2012. — 71 с.
2. ДСТУ Б EN 15261: 2012. Розрахунок параметрів мікроклімату. [Чинний від 2013-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2012. — 81 с.
3. ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011. Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту. [Чинний від 2013-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2012. — 74 с.
4. Fanger P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. British Journal of Industrial Medicine. 1973. — V. 30. — P. 313—324.
5. Prek M., Butala V. Principles Comparison between Fanger's thermal comfort model and human exergy loss. Energy. 2017. — V. 138. — P. 228—237.
6. Humphreys M., Nicol F., Roaf S. Adaptive Thermal Comfort, Foundations and Analysis, Routledge. Earthscan, London, 2015.
7. Prek M., Butala V. Principles of exergy analysis of human heat and mass exchange with the indoor environment. Int J Heat Mass Transf, 53, 25-26:5806-14, 2010.

Інформація про авторів:

Дешко В. І., д-р техн. наук, професор, te@kpi.ua, тел. 050-386-88-23
Буяк Н. А., канд. техн. наук, korovaj.te@gmail.com, 098-344-74-77
Білоус І. Ю., канд. техн. наук, biloys_inna@ukr.net, 050-650-04-79
Гурсєв М. В., mksm2901@gmail.com,
Голубенко О. О., agolubenko72@gmail.com