

ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЯ ШКОЛИ ТА ЗМІНА РІВНЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ

В. І. Дешко, доктор технічних наук, професор

Н. А. Буяк, кандидат технічних наук, асистент

І. Ю. Білоус, кандидат технічних наук, доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

E-mail: korovaj.te@gmail.com

Анотація. У роботі висвітлено актуальне питання забезпечення належного рівня теплового комфорту та зниження енергоспоживання громадськими будівлями. Термомодернізація у свою чергу дозволяє підвищити рівень теплового комфорту, що не враховується та не оцінюється на практиці, хоча відповідні стандарти щодо комфортних умов та категорії будівлі щодо забезпечення комфорту введені в дію в Україні.

Метою дослідження є аналіз впливу термомодернізації на рівень енергоспоживання та теплового комфорту.

У роботі проаналізовано зміну рівня комфорту до та після термомодернізації, визначено категорію будівлі щодо забезпечення комфортних умов, представлено зміну середньої радіаційної температури огорожень, як одного з основних факторів зміни PMV у даних умовах. Встановлено, що PMV змінюється від -0,7 у холодні місяці до 0,2 у міжсезоння. Зміна термічного опору огорожень дозволяє підвищити PMV, а отже покращити тепловідчуття людини приблизно на 0,1. Для стіни під орієнтації характерні більші коливання PMV, що обумовлено надходженням сонячної радіації і як наслідок зростання середньої радіаційної температури приміщення. Проаналізовано зміну значення енергопотреб, визначено клас енергоефективності та категорію щодо забезпечення комфортних умов. Такий підхід на прикладі реальної будівлі є прикладом для проведення енергоаудитів та сертифікації з урахуванням показників комфорту.

Ключові слова: енергопотреба, тепловий комфорт, PMV, термомодернізація, середня радіаційна температура

Актуальність. Питання підвищення енергоефективності будівель є важливим і комплексним завданням у державній політиці. Особливу увагу слід приділяти за умови підвищення енергоефективності громадських будівель рівню теплового комфорту, що регламентується ДСТУ Б EN ISO 7730: 2011 і широко висвітлюється в останніх дослідженнях [1–4]. Крім того, людський фактор враховується шляхом

визначення рівня використання та ступеня заповнення будівлі [5], що у свою чергу створює необхідність розглядати економічні, екологічні [6], енергетичні і соціальні чинники при оцінюванні та прийнятті рішень під час термомодернізації будівлі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Зрозуміло, що термомодернізація дозволяє підвищити енергетичні показники та енергоефективність існуючих будівель і зменшити потребу в енергії. Однак її вплив на рівень теплового комфорту почав вивчатися зовсім недавно [7]. Застосування сучасних економічних підходів дозволить виявити економічний потенціал термомодернізації у будівельному фонді, а використання сучасних моделей теплового комфорту дозволять оцінити вплив її вплив і можливості підвищення рівня теплового комфорту. Розроблено сучасні економічні підходи, що показують на прикладі Швеції економічний потенціал термомодернізації у житловому фонді із використанням 3 основних методів, а саме: 1) повні інвестиційні витрати та економія енергії (підхід повний), 2) підхід, що враховує вартість вдосконалень, що пов'язані з енергоефективністю та відповідно енергозбереження (підхід improvement) і 3) підхід, який відповідає підходу вдосконалень, але додатково присвоює залишкову вартість кожному будівельному елементу (підхід зниження) [8].

Будівля є складною енергетичною системою, тому питання споживання енергії досліджуються починаючи від джерела теплоти і закінчуючи вже не огорожувальними конструкціями, а вимогами до теплового комфорту, що ставить людина, що відображено у таких роботах [12, 1, 2]. Моделі теплового комфорту розроблені Фангером [9] лягли в основу стандарту EN ISO 7730, в їх основі лежить енергетичний баланс для людського тіла. Розвивається ексергетичний підхід не тільки для оцінки деструкції ексергії в огороженнях [14], а й для визначення ексергії, що витрачається на механізм терморегуляції людини [12, 19–22]. Врахування можливостей адаптації людського організму до умов середовища узагальнено адаптивними моделями і відповідними дослідженнями, важливими в даних роботах є умови довкілля [11, 15 – 18]. На основі останніх досліджень [13], в яких оцінювалося термомодернізації будівель, показується, що необхідно проявляти комплексний підхід для всієї системи в цілому, щоб підвищити енергоефективність будівлі. Враховуючи зростання вимог до теплового комфорту необхідно

враховувати як соціальні аспекти (показник PMV), так і застосування аналізу життєвого циклу будівлі.

Мета дослідження – аналіз впливу термомодернізації на рівень енергоспоживання та теплового комфорту.

Матеріали і методи дослідження.

Рівень теплового комфорту здійснюється на основі методу Фангера, який представлено в стандарті ISO 7730 та який заснований на рівняннях теплового балансу людини:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-2,1 \cdot M} + 0,028) \cdot [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}], \quad (1)$$

де M – ступінь метаболізму, Вт/м²; W – ефективна механічна робота, Вт/м²; H – втрати теплоти випромінюванням (sensitive heat losses), Вт/м²; E_c – теплообмін шляхом випаровування зі шкіри, Вт/м²; C_{res} – теплообмін конвекцією, під час дихання, Вт/м²; E_{res} – теплообмін випаровуванням під час дихання, Вт/м².

Модель Фангера, а саме показник PMV засновано на великій кількості експериментів, але не враховує механізм терморегуляції людини. Також вона допомагає оцінити прийнятність умов навколишнього середовища для забезпечення теплового комфорту людини.

Опис моделі дослідження

Об'єктом цього дослідження є спеціалізована школа №64 на вул. Ушинського, 32 м. Київ, збудована в 1973 році. Середній коефіцієнт теплопередачі стін значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=0,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ і становить $U=1,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Загальна площа стін становить 2814 м². Пропонуємо виконати роботи з утеплення зовнішніх стін. Додаткова тепла ізоляція дозволить зменшити наднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. Обираємо утеплювач – мінераловатні плити, товщиною 0,2 м та густиною 30 кг/м³. Середній коефіцієнт теплопередачі вікон будівлі перевищує розрахунковий нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=1,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ і становить $U=2,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Загальна площа вікон 1251,53 м². Пропонується виконати роботи із заміни існуючих металопластикових вікнах на подвійні склопакети з енергоефективним напиленням. Середній коефіцієнт

теплопередачі даху значно перевищує нормативний коефіцієнт теплопередачі $U=0,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ і становить $U=0,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Загальна площа даху становить 2251 м^2 .

Моделювання зміни рівня теплового комфорту до та після термомодернізації можливо на основі моделі кімнати, що обумовлено визначенням середньої радіаційної температури. За об'єкт дослідження було взято типову навчальну кімнату розміщену на другому поверсі будівлі в блоці Б розмірами $10 \times 10 \text{ м}$ з трьома віконними отворами розміром $2,05 \times 2,1 \text{ м}$, модель кімнати дослідження наведена на рис.1. Коефіцієнт скління $0,3$. Ця модель була створена в програмному продукті sketchUp і там же були додані всі інженерні системи, а саме моделювання проводилося у програмному продукті EnergyPlus. В табл. 1 наведені базові характеристики моделі дослідження та в табл.2 представлені характеристики внутрішнього та зовнішнього середовища.

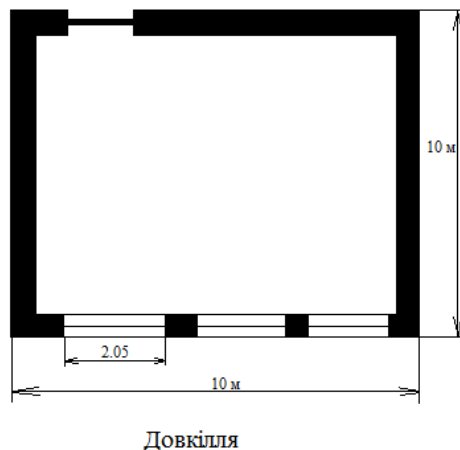


Рис. 1. Модель кімнати

1. Базові характеристики моделі

Площа зовнішньої стіни $F_z, \text{ м}^2$	17,4
Площа вікна $F_v, \text{ м}^2$	12,6
Термічний опір зовнішньої стіни $R_z, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	0,77
Термічний опір вікна $R_v, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$	0,4
Кратність повітрообміну $n, \text{ год}^{-1}$	1

2. Характеристики внутрішнього та зовнішнього середовища

Температура повітря довкілля T_0 , К	273
Відносна вологість довкілля φ_0 , %	78
Відносна вологість повітря в кімнаті, φ_v , %	50
Атмосферний тиск, Па	101325
Середня потужність надходження сонячної радіації на вертикальну поверхню Вт/м ²	30

Також швидкість обміну речовин приймалася 70 Вт/м², оскільки в цій кімнаті основний вид діяльності це сидяча робота, що й характерно для навчальних закладів, та термічний опір типових комбінацій одягу відповідно становить 0,155 м²К/Вт [7].

Результати досліджень та їх обговорення.

У результаті комплексної термомодернізації будівлі різниця в % розрахункового значення питомої енергопотреби, E_p , від максимально допустимого значення, E_{pmax} становить 20 %, що відображено на рис.2. Клас енергетичної ефективності після термомодернізації, встановлений за співвідношенням відповідає класу – «В», а до класу «Е».

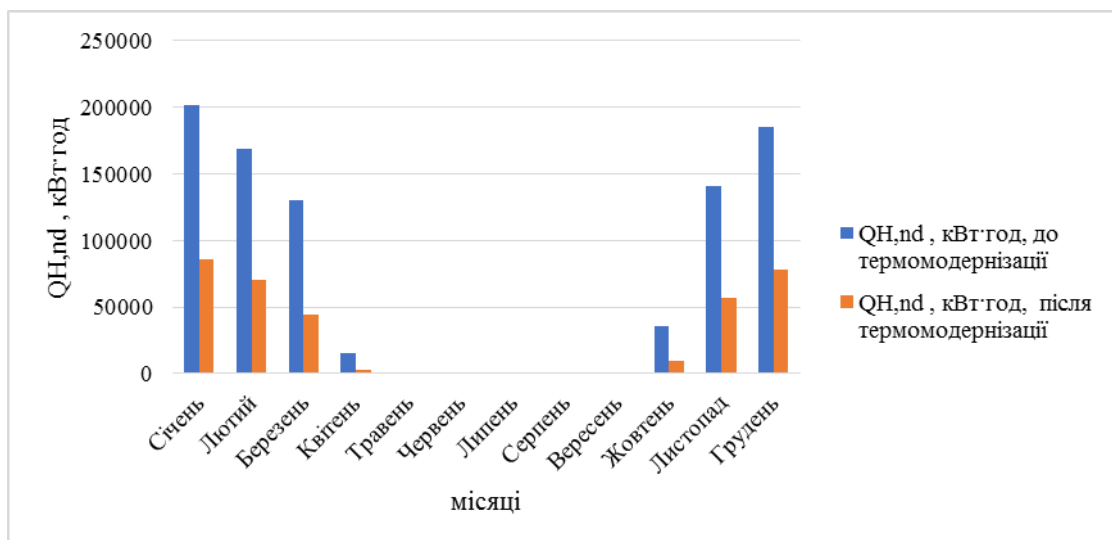


Рис.2. Питоме енергоспоживання

Вплив термомодернізації на рівень теплового комфорту

Нині в світі постає питання, яким чином прийти до ефективного використання енергії та в свою чергу не знизити тепловий комфорт у будівлях. Тому це питання є таким важливим та вимагає комплексного підходу до його вирішення.

Моделювання було проведено для типової кімнати, розташованої на південній та північній стороні. Наступним кроком було запропоновано утеплення стін, даху та заміна старих вікон на нові енергоефективні. Віконні конструкції пропонується замінити на двокамерні склопакети з селективним покриттям. Після цього було проведено повторне моделювання.

Розрахунок показників теплового комфорту для змінної середньої радіаційної температури на протязі року погодинно до та після термомодернізації для Пн та Пд стіни здійснювався у Mathcad. Значення PMV для опалювального періоду представлено на рисунку 4.

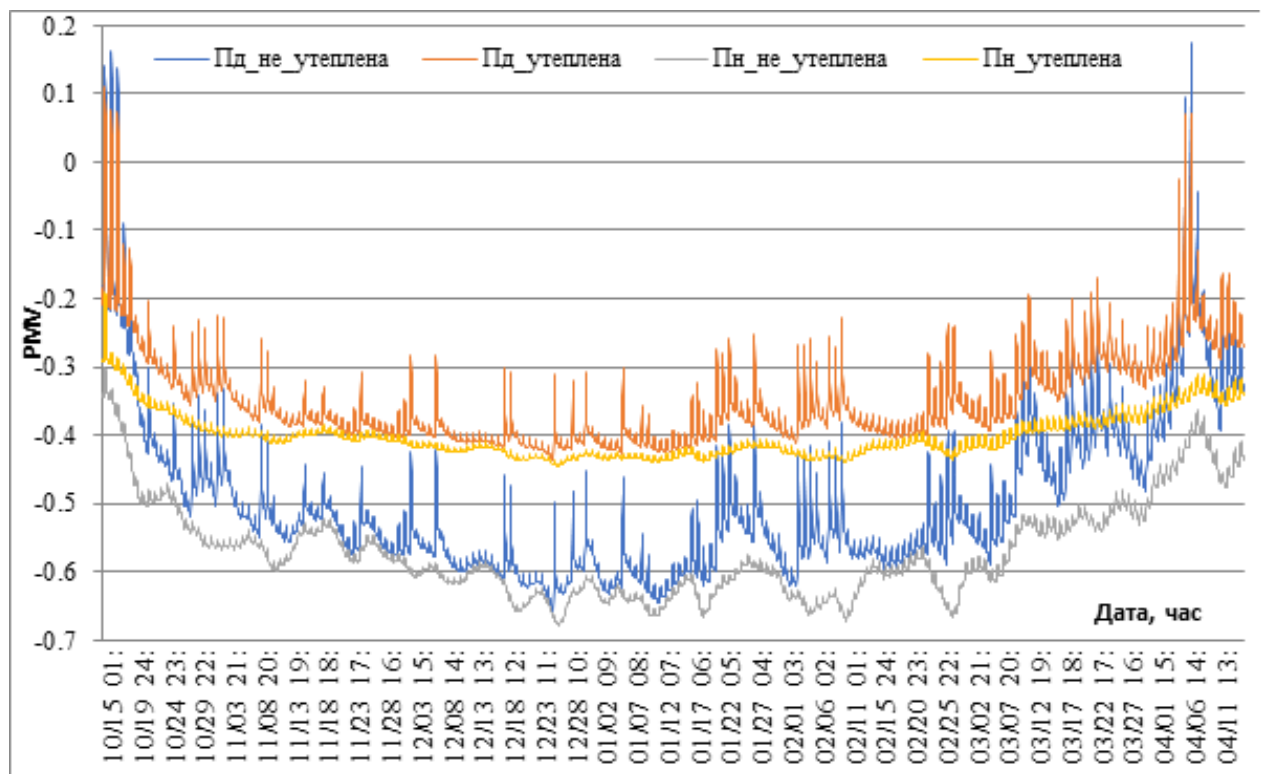


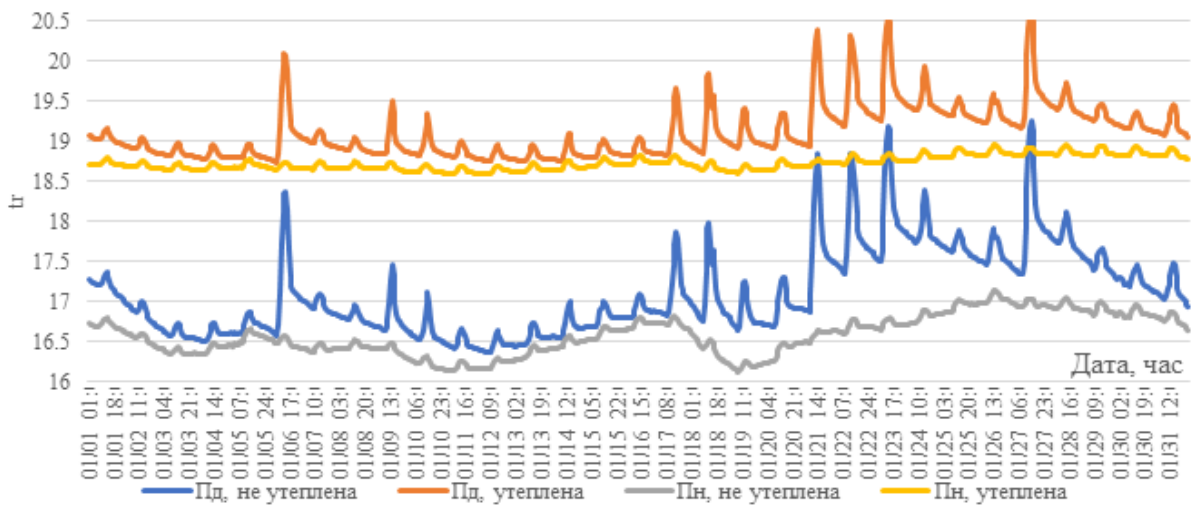
Рис. 3. Значення PMV для опалювального періоду

Показано, що PMV змінюється від -0,7 у холодні місяці до 0,2 у міжсезоння. Зміна термічного опору огорожень дозволяє підвищити PMV, а отже покращити тепловідчуття людини приблизно на 0,1. Для стіни Пд орієнтації характерні більші

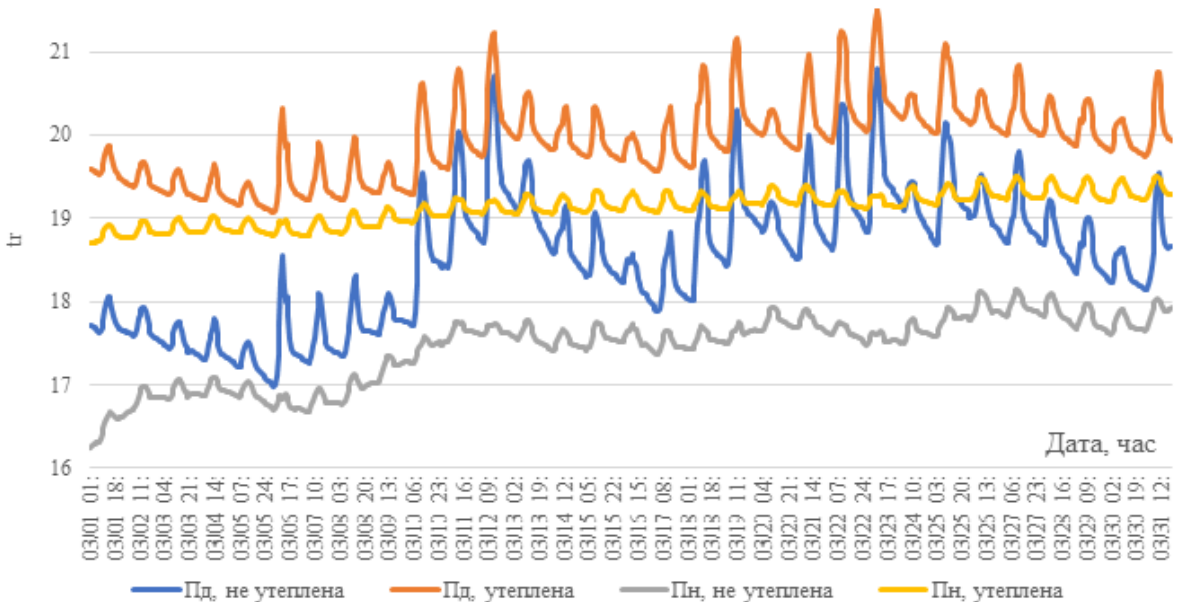
коливання PMV, що обумовлено надходженням сонячної радіації і як наслідок зростання середньої радіаційної температури приміщення.

На рисунку 5 представлено зміну середньої радіаційної температури для січня (а) та березня (б), до та після термомодернізації для стіни Пн та Пд орієнтації.

Встановлено, що підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій дозволяє підвищити середню радіаційну температуру приміщення в середньому на 2 °С. Південна орієнтація стіни забезпечує підвищення середньої радіаційної температури до 1,4 °С порівняно з Пн. Таке підвищення середньої радіаційної температури дозволить знизити температуру повітря у приміщенні без зниження рівня теплового комфорту.



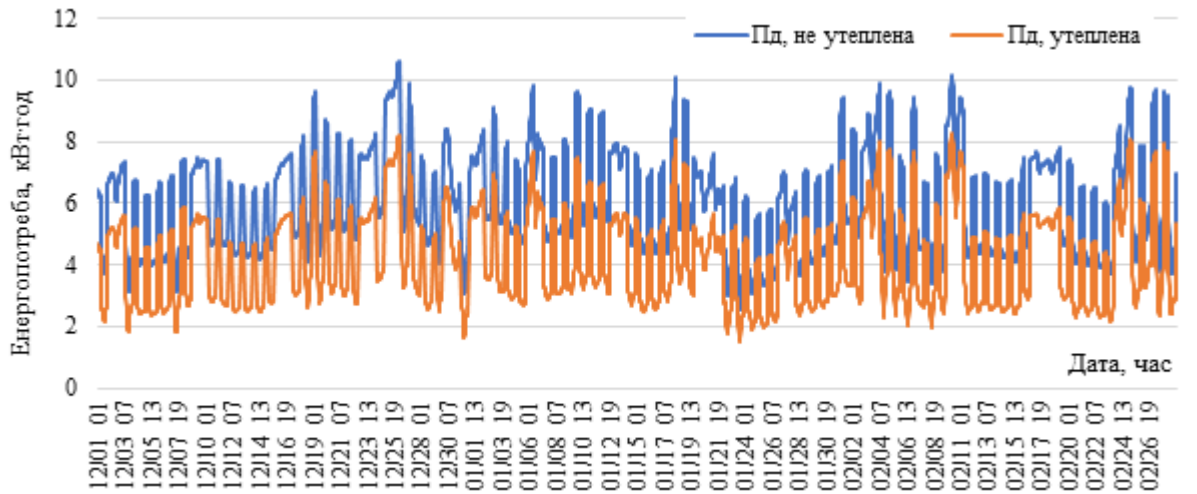
а



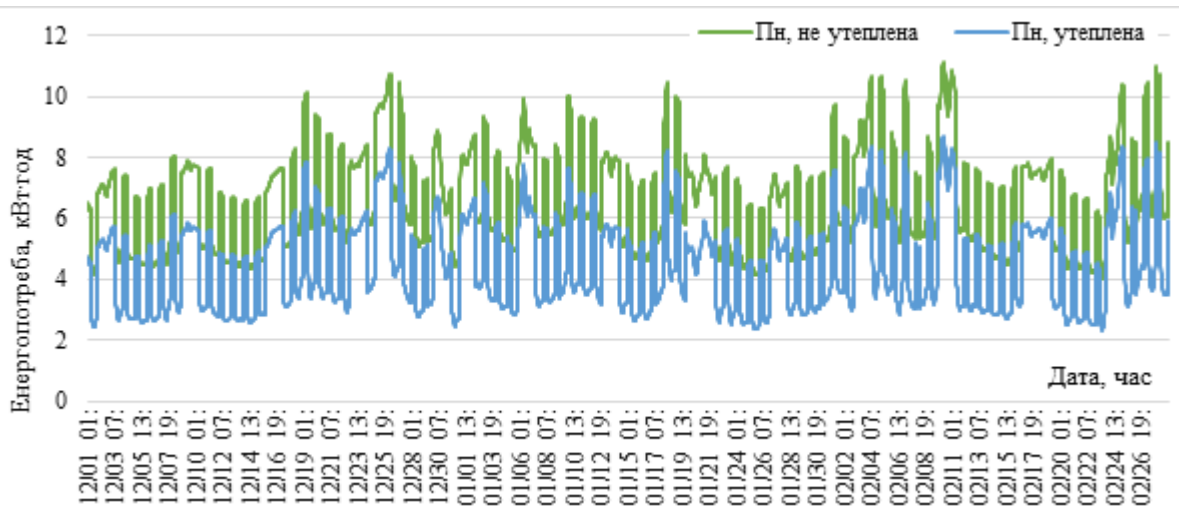
б

Рис.4. Зміна середньої радіаційної температури у січні (а) та у березні (б)

Також у програмі EnergyPlus був проведений розрахунок енергопотреби даної кімнати на Пд і Пн орієнтацію до та після утеплення і результати представлені на рисунку 6 для зимового періоду.



а)



б)

Рис.5. Зміна енергопотреби в зимовий період для Пд орієнтації (а) та Пн орієнтації (б)

Як показано на рис. 6, енергопотреба значно зменшується після проведення термомодернізації та підвищення опору огороджувальних конструкцій, як для Пд так і Пн орієнтації. Енергопотреба для Пд орієнтації після утеплення зменшилося на 32 % , а для Пн – 30 %, що свідчить про доречність проведення утеплення будівлі.

Відповідно до ДСТУ Б EN 15251:2011 різні категорії внутрішнього середовища встановлюються виходячи з різних критеріїв для PMV та PPD. Отже з проведених

досліджень можна дійти до висновку, що ця будівля має III категорію комфортності – це є допустимий середній рівень очікувань може бути використаний для існуючих будівель, але для комфортного перебування, а особливо для навчання дітей цього недостатньо. Тому було запропоновано провести комплексну термомодернізацію будівлі та за рахунок цього в наших дослідження вийшло привести дану будівлю до II категорії комфортності – це нормальний рівень очікувань має виконуватися для нових будівель та реновації.

Висновки і перспективи. У роботі представлено на прикладі школи зміну PMV (показника теплового комфорту). Встановлено, що PMV змінюється від -0,7 у холодні місяці до 0,2 у міжсезоння. Зміна термічного опору огорожень дозволяє підвищити PMV, а отже покращити тепловідчуття людини приблизно на 0,1. Для стіни Під орієнтації характерні більші коливання PMV, що обумовлено надходженням сонячної радіації і як наслідок зростання середньої радіаційної температури приміщення.

На основі розрахунку PMV встановлено, що ця будівля має III категорію комфортності – це є допустимий середній рівень очікувань, який може бути використаний для існуючих будівель, але для комфортного перебування, а особливо для навчання дітей цього недостатньо. Тому було запропоновано провести комплексну термомодернізацію будівлі, за рахунок чого категорія будівлі змінилася до II категорії комфортності – це нормальний рівень очікувань, який має виконуватися для нових будівель та реновації. Крім того, врахування в динамічному аспекті комфортних умов вказує на зміну категорії будівлі та можливість застосування енергоощадних режимів роботи.

Список використаних джерел

1. Дешко В. І., Буяк Н. А., Білоус І. Ю. Вибір теплового захисту та джерела тепла із врахуванням комфортних умов у будівлі. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. 2015. № 5. С. 71–80.
2. Dешко V. I., Buyak, N. A.; Sukhodub, I. O. Influence of subjective and objective thermal comfort parameters on building primary fuel energy consumption. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 2018. V. 7. P. 383–386.
3. Hurnik M., Specjal A., Popiolek Z., Kierat W. Assessment of single-family house thermal renovation based on comprehensive on-site diagnostics. *Energy and Buildings*, 2017, doi:10.1016/j.enbuild.2017.09.069

4. Dylewski R. Adamczyk J. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments. *Energy and Buildings*, 2012. V. 54, P. 88–95. doi:10.1016/j.enbuild.2012.07.021
5. Rodrigues C., Freire F. Building retrofit addressing occupancy: An integrated cost and environmental life-cycle analysis. *Energy and Buildings*, 2017. V.140. P. 388–398. doi:10.1016/j.enbuild.2017.01.084.
6. Javid A.S., Aramoun F., Bararzadeh M., Avami A. Multi objective planning for sustainable retrofit of educational buildings. *Journal of Building Engineering*, 2019. doi:10.1016/j.jobee.2019.100759
7. Park Ji H., Yun Beom Yeol; Chang, Seong Jin; Wi, Seunghwan; Jeon, Jisoo; Kim, Sumin. Impact of a passive retrofit shading system on educational building to improve thermal comfort and energy consumption. *Energy and Buildings*, 2020. doi:10.1016/j.enbuild.2020.109930
8. Streicher K. N., Mennel S., Chambers J., Parra D., Patel K. Cost-effectiveness of large-scale deep energy retrofit packages for residential buildings under different economic assessment approaches. *Energy and Buildings*, 2020. doi:10.1016/j.enbuild.2020.109870
9. Fanger P. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 1973. V. 30. P. 313–324.
10. Moran P., O'Connell J., Goggins J. Sustainable energy efficiency retrofits as residential buildings move towards nearly zero energy building (NZEB) standards. *Energy and Buildings*, 2020, doi:10.1016/j.enbuild.2020.109816 .
11. Dinesh K., Hom B., Genku K., Masanori S. Study on wintry comfort temperature and thermal improvement of houses in cold, temperate, and subtropical regions of Nepal. *Building and Environment*. 2021.
12. Dovjak M., Shukuya M., Krainer A. Connective thinking of building envelope – Human body exergy analysis. *International Journal of Heat and Mass transfer*, 2015. V. 90. P. 1015–1025.
13. Sayadi S. Dynamic Exergy-Based Methods for Improving the Operation of Building Energy Systems. 2020.
14. Choi, Wonjun, Ryoza Ooka, and Masanori S. Unsteady-state exergetic performance comparison of externally and internally insulated building envelopes. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 163 (2020): 120414.
15. de Dear R. et al. A review of adaptive thermal comfort research since 1998. *Energy and Buildings*, 2020. V.214. 109893.
16. Vellei M. et al. The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort. *Building and Environment*, 2017 V. 124. P. 171–185.
17. Rijal, Hom B., et al. Development of an adaptive thermal comfort model for energy-saving building design in Japan. *Architectural Science Review*, 2020. P. 1–14.
18. Hellwig, Runa T., et al. A framework for adopting adaptive thermal comfort principles in design and operation of buildings. *Energy and Buildings*, 2019. V. 205: 109476.
19. Prek M., Vincenc B. Comparison between Fanger's thermal comfort model and human exergy loss. *Energy*, 2017. V. 138. P. 228–237.

20. Turhan C, Gulden G. The relation between thermal comfort and human-body exergy consumption in a temperate climate zone. *Energy and Buildings*, 2019, V. 205. 109548.

21. Shukuya M. Exergetic aspect of human thermal comfort and adaptation. *Sustainable Houses and Living in the Hot-Humid Climates of Asia*. Springer, Singapore, 2018. P. 123–129.

22. Deshko V., Buyak N., Voloshchuk V. Reference state for the evaluation of energy efficiency of the system "heat source-human-building envelope". ECOS 2019- Proceedings of the 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems. 2019. C. 2287–2300.

References

1. Deshko, V. I.; Buiak, N. A., Bilous, I. Iu. (2015). Vybir teplovoho zakhystu ta dzherela tepla iz vrakhuvanniam komfortnykh umov u budivli. [Choice of thermal protection and heat source taking into account comfortable conditions in the building]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriya: Tekhnichni nauky*, 5, 71–80.

2. Deshko, V. I.; Buyak, N. A., Sukhodub, I. O. (2018). Influence of subjective and objective thermal comfort parameters on building primary fuel energy consumption. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, 7.4.3, 383–386.

3. Hurnik, Maria; Specjal, Aleksandra; Popiolek, Zbigniew, Kierat, Wojciech (2017). Assessment of single-family house thermal renovation based on comprehensive on-site diagnostics. *Energy and Buildings*, S0378778817322545–. doi:10.1016/j.enbuild.2017.09.069

4. Dylewski, Robert; Adamczyk, Janusz (2012). Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments. *Energy and Buildings*, 54, 88–95. doi:10.1016/j.enbuild.2012.07.021

5. Rodrigues, Carla; Freire, Fausto (2017). Building retrofit addressing occupancy: An integrated cost and environmental life-cycle analysis. *Energy and Buildings*, 140, 388–398. doi:10.1016/j.enbuild.2017.01.084.

6. Javid, Atiye Soleimani; Aramoun, Fereshteh; Bararzadeh, Masoomah; Avami, Akram (2019). Multi objective planning for sustainable retrofit of educational buildings. *Journal of Building Engineering*, 100759. doi:10.1016/j.jobee.2019.100759

7. Park, Ji Hun; Yun, Beom Yeol; Chang, Seong Jin; Wi, Seunghwan; Jeon, Jisoo; Kim, Sumin (2020). Impact of a passive retrofit shading system on educational building to improve thermal comfort and energy consumption. *Energy and Buildings*, 109930. doi:10.1016/j.enbuild.2020.109930

8. Streicher, Kai Nino; Mennel, Stefan; Chambers, Jonathan; Parra, David; Patel, Martin K. (2020). Cost-effectiveness of large-scale deep energy retrofit packages for residential buildings under different economic assessment approaches. *Energy and Buildings*, 109870. doi:10.1016/j.enbuild.2020.109870

9. Fanger, P. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, 30, 313–324.

10. Moran, P.; O'Connell, J.; Goggins, J (2020). Sustainable energy efficiency retrofits as residential buildings move towards nearly zero energy building (NZEB) standards. *Energy and Buildings*, 109816. doi:10.1016/j.enbuild.2020.109816 .

11. Dinesh K.; Hom, B; Genku, Kayo, Masanori S. (2021). Study on wintry comfort temperature and thermal improvement of houses in cold, temperate, and subtropical regions of Nepal. *Building and Environment*.
12. Dovjak, M.; Shukuya, M, Krainer, A. (2015). Connective thinking of building envelope – Human body exergy analysis. *International Journal of Heat and Mass transfer*, 90, 1015–1025.
13. Sayadi S. (2020). *Dynamic Exergy-Based Methods for Improving the Operation of Building Energy Systems*.
14. Choi, W.; Ryozo O. & Masanori S. (2020). Unsteady-state exergetic performance comparison of externally and internally insulated building envelopes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 163: 120414.
15. de Dear, R., et al. (2020). A review of adaptive thermal comfort research since 1998." *Energy and Buildings*, 214: 109893.
16. Vellei, Marika, et al. (2017). The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort. *Building and Environment*, 124, 171–185.
17. Rijal, Hom B., et al. (2020). Development of an adaptive thermal comfort model for energy-saving building design in Japan. *Architectural Science Review*, 1–14.
18. Hellwig, Runa T., et al. (2019). A framework for adopting adaptive thermal comfort principles in design and operation of buildings. *Energy and Buildings*, 205: 109476.
19. Prek, M., Vincenc B. (2017). Comparison between Fanger's thermal comfort model and human exergy loss. *Energy*, 138, 228–237.
20. Turhan, C., Gulden G. (2019). The relation between thermal comfort and human-body exergy consumption in a temperate climate zone. *Energy and Buildings*, 205, 109548.
21. Shukuya, M. (2018). Exergetic aspect of human thermal comfort and adaptation. *Sustainable Houses and Living in the Hot-Humid Climates of Asia*. Springer, Singapore, 123–129.
22. Deshko, V., Buyak, N., Voloshchuk, V. (2019). Reference state for the evaluation of energy efficiency of the system “heat source-human-building envelope”. *ECOS 2019-Proceedings of the 32nd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems*, 2287–2300.

ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦІЯ ШКОЛИ І ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТА

В. И. Дешко, Н. А. Буяк, И. Ю. Белоус

Аннотация. *В работе освещен актуальный вопрос обеспечения надлежащего уровня теплового комфорта и снижения энергопотребления общественными зданиями. Термомодернизация в свою очередь позволяет повысить уровень теплового комфорта, это не учитывается и не оценивается на практике, хотя соответствующие стандарты комфортных условий и категории здания по обеспечению комфорта введены в действие в Украине.*

Целью исследования является анализ влияния термомодернизации на уровень энергопотребления и теплового комфорта.

В работе проанализированы изменения уровня комфорта до и после термомодернизации, определена категория здания по обеспечению комфортных условий, представлено изменение средней радиационной температуры ограждений, как одного из основных факторов изменения PMV в данных условиях. Установлено, что PMV изменяется от -0,7 в холодные месяцы до 0,2 в межсезонье. Изменение термического сопротивления ограждений позволяет повысить PMV, а значит улучшить теплоощущения человека примерно на 0,1. Для стены Ю ориентации характерны большие колебания PMV, что обусловлено поступлением солнечной радиации и как следствие ростом средней радиационной температуры. Проанализировано изменение значения энергопотребности, определен класс энергоэффективности и категорию по обеспечению комфортных условий. Такой подход на примере реального здания является примером для проведения энергоаудитов и сертификации с учетом показателей комфорта.

Ключевые слова: *энергопотребность, тепловой комфорт, PMV, термомодернизация, средняя радиационная температура*

THERMOMODERNIZATION OF THE SCHOOL AND CHANGE OF THE LEVEL OF THERMAL COMFORT

V. Deshko, N. Buyak, I. Bilous

Abstract. *The paper highlights the topical issue of ensuring the appropriate thermal comfort level and reducing energy consumption by public buildings. Thermal modernization, in turn, allows increasing the level of thermal comfort, which is not taken into account and evaluated in practice, although the relevant standards for comfort conditions and categories of buildings to ensure comfort have been introduced in Ukraine.*

The aim of the study is to analyze the impact of thermal modernization on the level of energy consumption and thermal comfort.

The paper analyzes the change in the level of comfort before and after thermal modernization, defines the comfortable conditions category of the building, presents the change in the mean radiant temperature, as one of the main factors of PMV change in these conditions. PMV has been found to vary from -0.7 in the cold months to 0.2 in the off-season. Changing the thermal resistance can increase the PMV. The wall of the S orientation is characterized by larger fluctuations of PMV, which is due to the inflow of solar radiation and as a consequence of increasing the mean room radiant temperature. The change in the value of energy consumption is analyzed, the class of energy efficiency and the category for providing comfortable conditions are determined. Such an approach on the example of a real building is an example for conducting energy audits and certification taking into account comfort indicators.

Key words: *energy consumption, thermal comfort, PMV, thermal modernization, mean radiant temperature*