

УДК 697.1

^{1,2}ДЕШКО В. І., ^{1,3}БІЛОУС І. Ю., ¹БУЯК Н. А., ¹САПУНОВ А. О.

¹Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

²Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

³Інститут загальної енергетики НАН України, Україна

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ В ДИТЯЧОМУ САДКУ, ТА ЙОГО ВПЛИВ НА РІВЕНЬ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ

Вступ. Люди проводять близько 90% свого часу в приміщенні, тому комфортне теплове середовище в приміщенні має важливе значення для високого рівня продуктивності і гарного самопочуття. Оцінка теплового комфорту в приміщенні є ключовим моментом при проектуванні і експлуатації системи опалення і вентиляції, а також при підвищенні енергоефективності будівель.

Мета. Підвищення енергоефективності будівель та оцінка зміни теплового комфорту для високочутливих верств населення на прикладі відвідувачів дитячого садочку при покращенні теплового захисту.

Методика. Дослідження виконуються з використання комп'ютерного моделювання у програмному забезпеченні DesignBuilder.

Результати. За допомогою комп'ютерного моделювання визначили енергопотребу, додаткові теплові надходження та теплові втрати будівлі з різним рівнем теплового захисту та з різними режимами роботи опалення та вентиляції. Дослідили вплив підвищення рівня енергоефективності на тепловий комфорт.

Наукова новизна. Дослідження впливу підвищення рівня ефективності споживання енергії будівлі на рівень теплового комфорту за допомогою комп'ютерного моделювання.

Практична значимість. За допомогою комп'ютерного моделювання побудовано 3D модель і визначено енергоспоживання будівлі до та після підвищення рівня ефективності споживання енергії а також вплив модернізації будівлі на рівень теплового комфорту.

Ключові слова. енергозбереження; умови комфортності; комп'ютерне моделювання; дошкільний навчальний заклад.

Вступ. У зв'язку з тим, що жителі будинку відіграють важливу роль в експлуатації будівлі і, більш того, в підвищенні енергоефективності будівель, оцінка теплового комфорту в них важлива не тільки для будівництва проектування і експлуатації, а також для підвищення енергоефективності. Сприйняття жителями будинку теплового комфорту в приміщенні зазвичай відноситься до їх відчуття комфорту в кімнаті, наприклад, в кімнаті жарко, холодно або нейтрально і так далі, це не являє собою пряме відчуття температури повітря в приміщенні. Крім того є верстви населення які особливо чутливі до вимог теплового комфорту – це діти та літні люди, по-різному в однакових умовах почувають себе жінки та чоловіки.

Як правило, найбільш поширені стандарти теплового комфорту ґрунтуються на адаптивних або стаціонарних моделях. Більшість адаптивних моделей засновані за результатами одночасного збору даних про тепловий стан довкілля та теплова реакція суб'єктів, з визначенням параметрів теплового режиму в приміщенні, що задовольняють очікуванням мешканців. Представлення адаптивної моделі зазвичай забезпечують експериментальні співвідношення, в яких температура теплового комфорту є функцією температури зовнішнього повітря [1, 2]. Серед стаціонарних моделей найбільш часто використовується модель індексу теплового комфорту (PMV), яка була розроблена Фангером [3] кілька десятиліть тому, і до цих пір лежить в основі багатьох досліджень теплового комфорту [4–9]. Індекс PMV є функцією шести параметрів і, згідно з ISO 7726 [10], чотири з них – об'єктивні параметри навколишнього середовища (температура, швидкість та вологість

повітря, середня радіаційна температура). Два інших параметра є суб'єктивними факторами, ізоляція одягу і швидкістю метаболізму, їх оцінка описана в стандартах ISO 9920 [11] і 8896 [12] відповідно. В контексті суб'єктивних факторів швидкість метаболізму людини є основним для оцінки теплового комфорту, як показано в кількох дослідженнях [13, 14].

Постановка завдання. Проведені дослідження у садочку показали, що діти (4-5 років) розуміють концепцію комфорту і можуть визначити свій усвідомлюваний і бажаний рівень теплового комфорту. Крім того, зрозуміло, що PMV у дітей дещо вищий, ніж у дорослих [15]. Особлива увага приділяється індивідуальним вимогам до питань теплового комфорту, обумовлених статтю, вік тощо. Як наслідок перехід від парадигми централізованого забезпечення якості мікроклімату до персоналізованих систем [16].

Тому метою дослідження є підвищення енергоефективності будівель та оцінка зміни теплового комфорту для високочутливих верств населення на прикладі відвідувачів дитячого садочку при зменшенні енергоспоживання. Оцінка впливу орієнтації будівлі, рівня теплового захисту в динаміці на відчуття теплового комфорту, а саме на PMV.

Опис об'єкта дослідження та основних параметрів моделювання. Об'єктом дослідження є дошкільний навчальний заклад № 630 (ясла-садок) який розташований у м. Київ. Навчальний заклад заснований у 1951 році. На рис. 1 зображено розташування за сторонами світу, загальний вигляд моделі ДНЗ №630 у Designbuilder. У ДНЗ даний час навчається 84 дитини, які поділено на 4 групи по 21 дитині, працює 25 осіб персоналу.

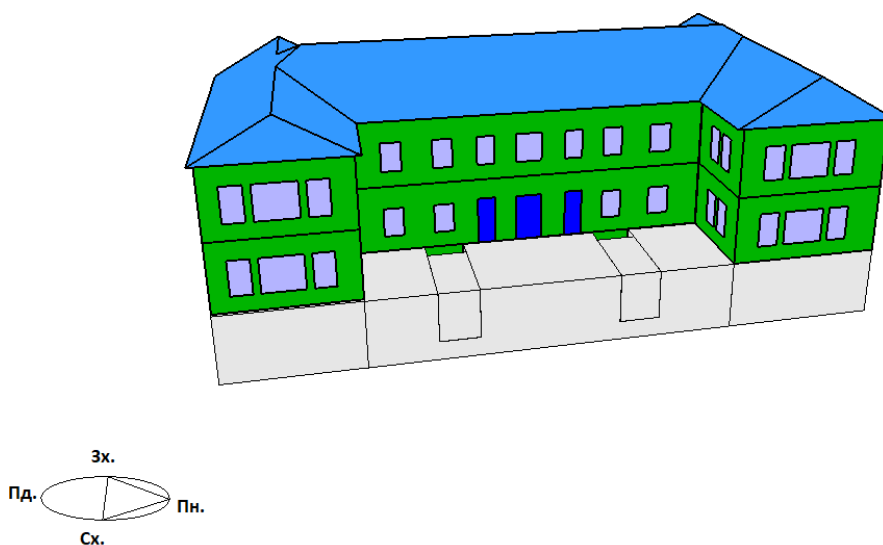


Рис. 1. Модель будівлі у Design builder

Загальна інформація про ДНЗ №630 наведена в табл. 1. Зовнішні стіни з 1-го по 2-ий поверх включно виконані із червоної цегли, кладка подвійна, товщина стіни 520 мм. Стіна складається з кількох шарів: цегляна кладка з цементним розчином – 500 мм, штукатурка внутрішня 20 мм. Вікна у ДНЗ з подвійним склінням у металопластикових склопакетах 4М₁-16-4М₁-16-4М₁. Горище перекриття дерев'яне, утеплено шаром керамзиту.

Таблиця 1

Загальна інформація

Загальна площа будівлі, м ²	1299,68	Опалювальна площа, м ²	918
Загальний об'єм, м ³	3517,91	Опалювальний об'єм, м ³	2599,36
Висота приміщення, м ²	3	Кількість поверхів	2
Площа ігрових кімнат, м ²	297	Площа спальних кімнат, м ²	78,16

В умовах актуальності розвитку та впровадження концепції будівля з майже нульовим споживанням енергії, для аналізу рівня теплового комфорту використовується базовий варіант (теплотехнічні параметри відповідають існуючим) та варіант для якого параметри будівлі відповідають вимогам які представляються у Швеції, всі дані щодо термічного опору для базового варіанту та варіанту після термосанації представлено у табл.2.

Таблиця 2

Характеристики огорожувальних конструкцій ДНЗ №630

Вид огорожувальної конструкції	Значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, (м ² ·К)/Вт		Площа А, м ²
	Існуюче приведенне значення	Мінімальні вимоги Швеції	
Зовнішні стіни	1.02	5.84	990
Горищні перекриття неопалюваних горищ	1.13	9.5	459
Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами	0.52	1	170
Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0.52	1	129
Зовнішні двері	0.49	1.05	19.48

Опалення здійснюється від через тепловпункту, який знаходиться в підвальному приміщенні ДНЗ, в базовому варіанті без регулювання опалення та вентиляції у неробочі години. Внутрішня температура встановлена на 22°C та кратність повітря обміну 1.5 год⁻¹ відповідно до стандарту EN 12831 [17]. Як варіант енергозбереження розглядається можливість використання регулювання опалення та вентиляції у неробочі години. При запровадженні чергового режиму опалення внутрішня температуру у неробочі години понижена до 18°C и за 2 години до робочого часу підвищується до 22°C, кратність повітрообміну в неробочі години становить 0.75 год⁻¹, що відображено на рис. 2.

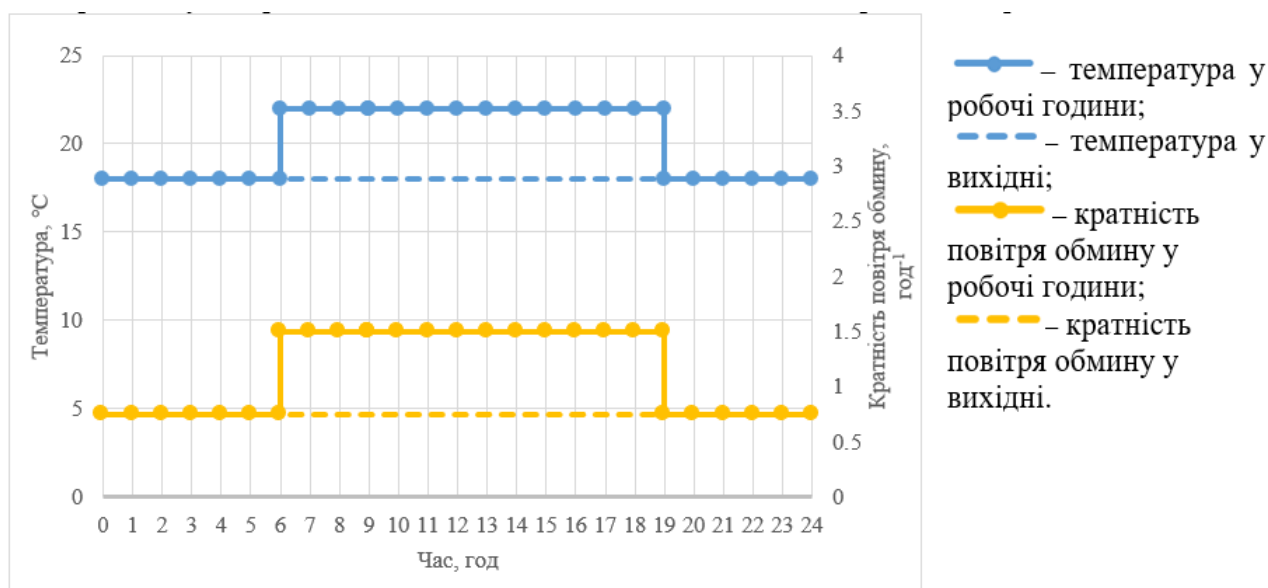


Рис. 2. Добовий графік температури повітря та кратності повітрообміну будівлі дитячого садочка

Добовий графік присутності людей та дітей у різних приміщеннях будівлі відображено на рис. 3. У дитячому садочку на кухні працюють з 7–17 годину, враховано, що в ігровій діти знаходяться з 9–13 і з 17–18, у спальні з 13–16.

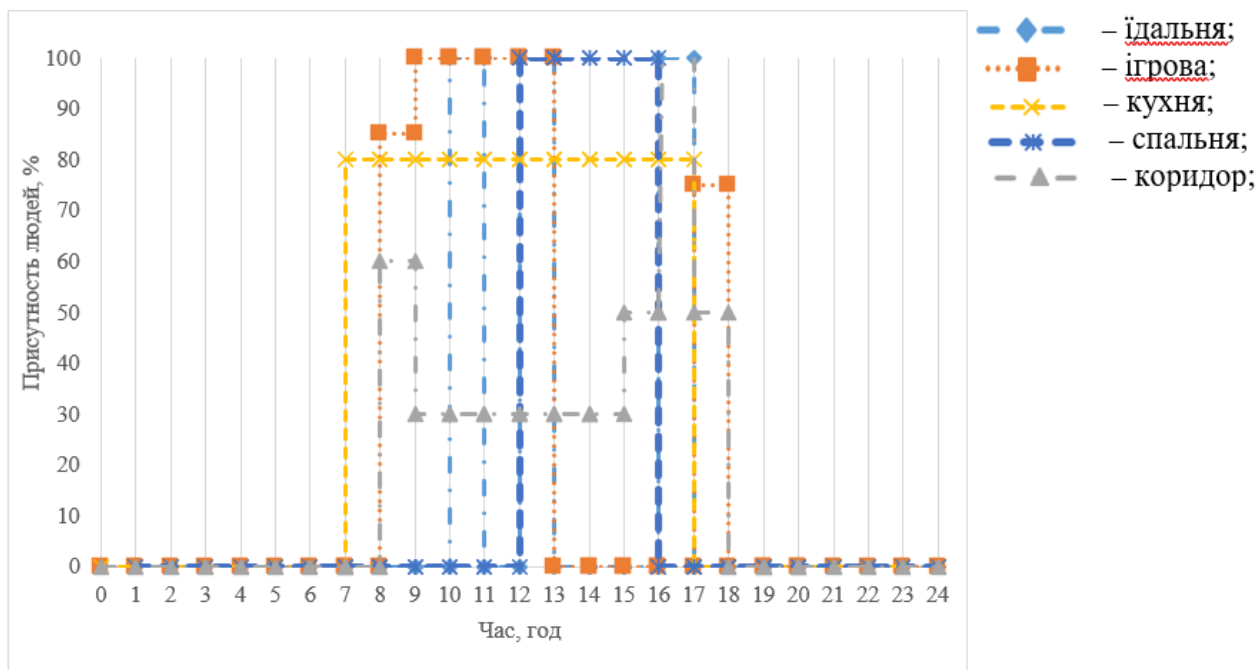


Рис. 3 Добовий графік присутності людей у будівлі дитячого садочка

Серед суб'єктивних параметрів теплового комфорту виділяють метаболізм M та термічний опір одягу людини I_{clo} . Для розрахунків значення M прийнято різним для різних кімнат, що залежить від активності присутніх: ігрова кімната – 180 Вт; столова кімната – 125 Вт; спальня кімната – 83 Вт; кухня – 180 Вт; кабінет – 123 Вт. Метаболізм в DesignBuilder є сталою величиною, яка притаманна кількості теплоти що виділяє дорослий чоловік із типовою площею поверхні $1,8 \text{ м}^2$. Оскільки у садочку працюють в основному жінки та знаходяться діти, тому використовується метаболічний фактор який був встановлений на рівні 0.75 (для дітей), окрім кухні та кабінету в яких встановлено 0.85 (для жінок).

Наступний показник теплового комфорту – термічний опір одягу, який встановлений на рівні 1(clo) в зимовий час, в літній становить 0.5. У спальні даний параметр встановлено на рівні 3.5, що визначається термічним опором ковдри.

Результати моделювань у Design Builder. На основі проведених моделювань визначено значення енергопотреб, додаткові теплові надходження та теплові втрати будівлі з різним рівнем теплового захисту та з різними режимами роботи опалення та вентиляції. Базовий варіант відповідає існуючому рівню термічного опору огорожень, також розглядається базовий варіант і з переривчастим опаленням та вентиляцією, ще один – огороження відповідають нормам Швеції, та для норм Швеції додано переривчасте опалення. Підвищення термічного опору від базового варіанту до норм Швеції знижує енергопотребу на 32% у порівнянні з базовим варіантом. Впровадження переривчастого опалення обумовлює зниження енергопотреб на 14% для садочку відповідно у порівнянні з базовим варіантом. Переривчасте опалення та вентиляція та підвищення теплового захисту до норм Швеції дозволяє отримати зниження енергопотреб на 42%, що представлено на рис. 4. Було досліджено баланс додаткових теплових надходжень та теплових втрат для базового варіанту який переставлено на рис. 5. та рис. 6 відповідно для опалювального сезону (базовий варіант).

Найбільші додаткові теплові надходження до будівлі надходять від людей і складають 50% від загального показника, а найбільші втрати відбуваються через інфільтрацію, порівно з будівлями іншого призначення складова теплових втрати з повітря обміну значно більші, враховуючі особливості умов комфортності дошкільних закладів.

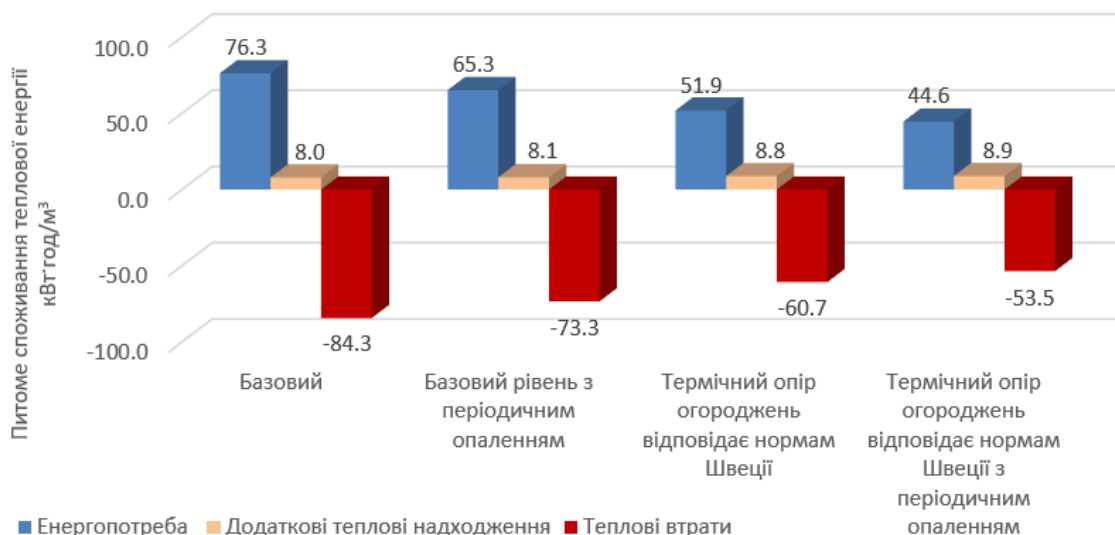


Рис. 4. Енергопотреба, додаткові теплові надходження та теплові втрати з різним рівнем теплового захисту та з різними режимами роботи опалення та вентиляції



Рис. 5. Баланс додаткових теплових надходжень

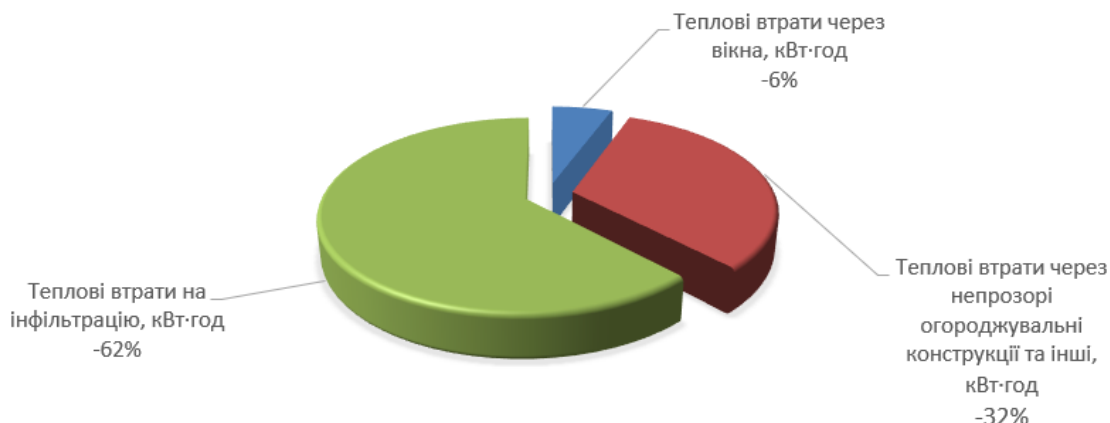


Рис. 6. Баланс теплових втрат

Динаміка добового теплового споживання в ігровій та спальній кімнаті в садочку з різним рівнем теплового захисту та з різними режимами роботи опалення та вентиляції за лютий представлено на рис. 7. Встановлено що максимальне значення добового теплового споживання для базового варіанту за лютий становить 0.55 кВт/м³ та 0.67 кВт/м³ для ігрової та спальної кімнати відповідно, застосування переривчастого опалення та вентиляції знижує цю величину на 21%, підвищення термічного опору на 23% в ігровій кімнаті, та 31% для спальні, сумісний вплив цих заходів знижує теплове навантаження на 37% та 46% в термічний опір огорожень відповідає нормам Швеції + переривчасте опалення та вентиляція.

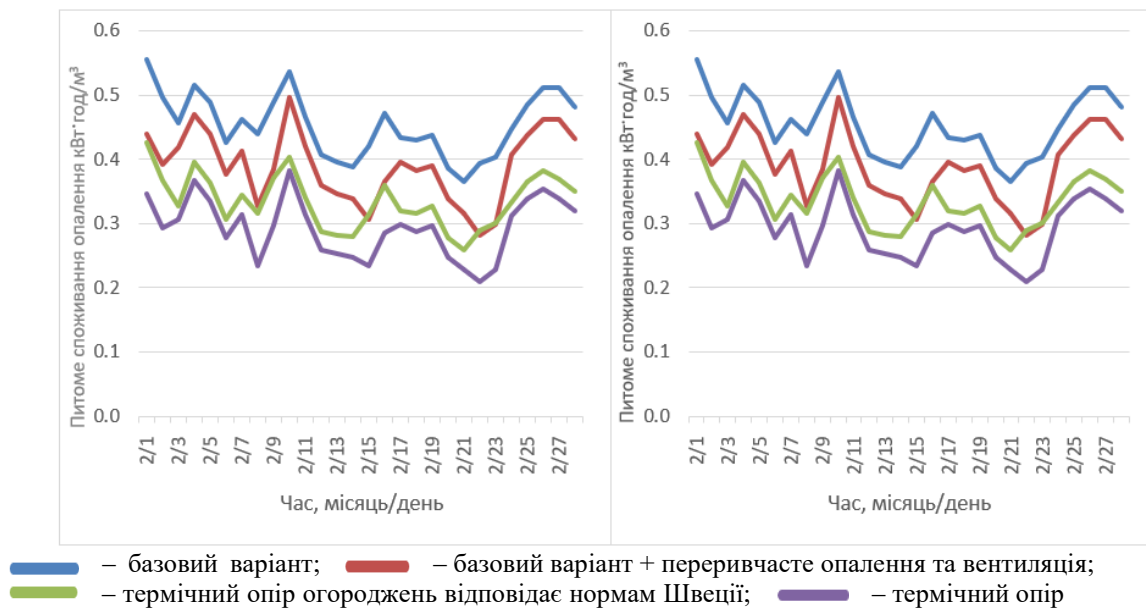


Рис. 7. Добове теплове споживання опалення в ігровій (а) та спальній (б) кімнаті садочку

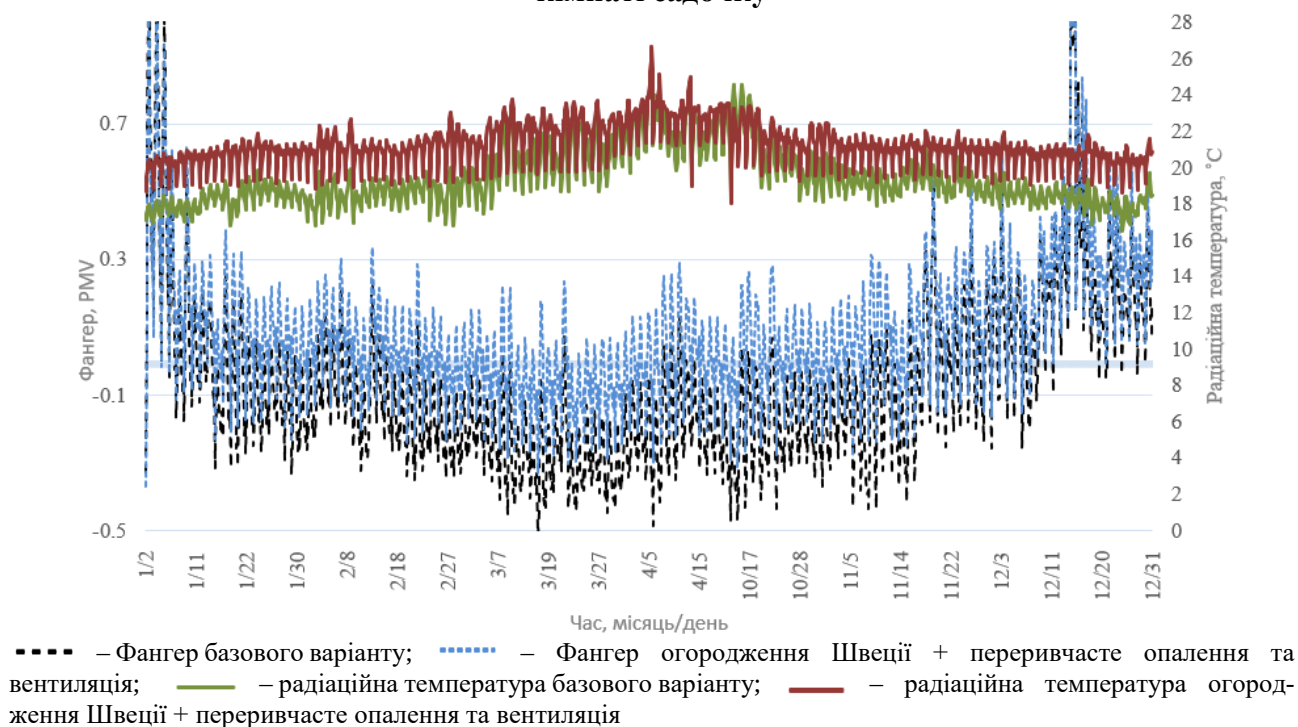


Рис. 8. Впливу підвищення рівня енергоефективності на тепловідчуття дітей та значення середньої радіаційної температури

Для оцінки впливу підвищення рівня енергоефективності на тепловідчуття дітей на рис. 8, представлено динаміку зміни PMV та радіаційної температури як основного фактору впливу на зміну PMV, для ігрової кімнати для базового варіанту та варіанту у якому огороження відповідають нормам Швеції та використовується переривчасте опалення та вентиляція. На початку і вкінці опалювального періоду PMV суттєво перевищує допустимі значення від -0.5 – 0.5 і досягає 1 , підвищення термічного опору ще підвищує ці значення. Таке підвищення говорить про можливість зниження температури повітря у приміщенні, що суттєво покращить тепловідчуття дітей, тобто їм не буде жарко, а також зменшить споживання енергії на опалення. Оскільки зниження температури в приміщенні приведе і до зниження середньої радіаційної температури це вимагатиме додаткових досліджень. Для базового варіанту найнижчі значення PMV -0.5 , для утепленого -0.3 .

Висновки. Показано, що, застосування переривчастого опалення та вентиляції знижує значення теплового навантаження на 14% , підвищення термічного опору на 32% сумісний вплив на 42% .

Дослідили динаміку зміни PMV для дітей у приміщеннях для базового варіанта та варіанту у якому огороження відповідають нормам Швеції та використовується переривчасте опалення та вентиляція. З наведених результатів бачимо що з підвищенням термічного опору огороження не лише зменшується енергоспоживання а і поліпшується рівень теплового комфорту в приміщеннях.

В подальшому заплановано комплексний аналіз цих параметрів, що дозволить обрати оптимальний режим опалення та ще зменшити теплове навантаження на будівлю.

References

1. Yao, R., Li, B., Liu, J. A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Build. Environ.*
2. Nicol, J. F., Humphreys, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy Build.*
3. Fanger, P. O. (1970). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.
4. Zhang, G., Zheng, C., Yang, W., Zhang, Q. and Moschandreas, D. J. (2007). Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region. *Indoor Built Environ.*
5. Wan, M. P., Chao, C. Y. (2002). Experimental study of thermal comfort in an office environment with an underfloor ventilation system. *Indoor Built Environ.*, 11(5): 250–265. <https://doi.org/10.1159/000066525>.
6. Zampetti, L., Arnesano, M., Revel, G. M. (2018). Experimental testing of a system for the energy-efficient sub-zonal heating management in indoor environments based on PMV. *Energy Build.*, 166: 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.019>.
7. Revel, G. M., Arnesano, M. (2014). Perception of the thermal environment in sports facilities through subjective

Література

1. Yao R., Li B., Liu J. A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Build. Environ.*
2. Nicol J. F., Humphreys M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy Build.*
3. Fanger P. O. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. 1970.
4. Zhang G., Zheng C., Yang W., Zhang Q. and Moschandreas D. J. Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region. *Indoor Built Environ.* 2007.
5. Wan M. P., Chao C. Y. Experimental study of thermal comfort in an office environment with an underfloor ventilation system. *Indoor Built Environ.* 2002. # 11(5). P. 250–265. <https://doi.org/10.1159/000066525>.
6. Zampetti L., Arnesano M., Revel G. M. Experimental testing of a system for the energy-efficient sub-zonal heating management in indoor environments based on PMV. *Energy Build.* 2018. # 166. P. 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.019>.
7. Revel G. M., Arnesano M. Perception of the thermal environment in sports facilities through subjective approach. *Build. Environ.* 2014. # 77.

- approach. *Build. Environ.*, 77: 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.017>.
8. Revel, G. M., Arnesano, M. (2014). Measuring overall thermal comfort to balance energy use in sports facilities. *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 55: 382–393. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.05.027>.
9. Fanger, P. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British J. Industrial Med.*, 30 (4): 313–324. <https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>.
10. ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. ISO Stand. 1998.
11. ISO 9920 Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Int. Stand. Organ., 2006.
12. BS EN ISO 89962004 Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate. 2004.
13. Luo, M., Wang, Z., Ke, K., Cao, B., Zhai, Y., Zhou, X. (2018). Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge. *Build. Environ.*, 131: 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.005>.
14. Calvaresi, A., Arnesano, M., Pietroni, F., G. Revel, M. (2018). Measuring metabolic rate to improve comfort management in buildings. *Environ. Eng. Manag. J.*, 17 (10): 2287–2296. <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.227>.
15. Fabbri, K. (2013). Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. *Building and Environment*, 68: 202–214.
16. Wang, Z., de Dear, R., Luo, M., Lin, B., He, Y., Ghahramani, A., Zhu, Y. (2018). Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*, 138: 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.040>.
17. DSTU EN 12831-1:2017 Енергоэффективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження [Energy efficiency of buildings. Method for calculating the design heat load] [in Ukrainian].
- P. 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.017>.
8. Revel G. M., Arnesano M. Measuring overall thermal comfort to balance energy use in sports facilities. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 2014. # 55. P. 382–393. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.05.027>.
9. Fanger P. O. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British J. Industrial Med.* 1973. # 30 (4). P. 313–324. <https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>.
10. ISO 7726 Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. ISO Stand., 1998.
11. ISO 9920 Ergonomics of the thermal environment – estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble. Int. Stand. Organ., 2006.
12. BS EN ISO 89962004 Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate. 2004.
13. Luo M., Wang Z., Ke K., Cao B., Zhai Y., Zhou X. Human metabolic rate and thermal comfort in buildings: The problem and challenge. *Build. Environ.* 2018. # 131. P. 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.005>.
14. Calvaresi A., Arnesano M., Pietroni F., G. Revel M. Measuring metabolic rate to improve comfort management in buildings. *Environ. Eng. Manag. J.* 2018. # 17 (10). P. 2287–2296. <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.227>.
15. Fabbri K. Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. *Building and Environment*. 2013. № 68. P. 202–214.
16. Wang Z., de Dear R., Luo M., Lin B., He Y., Ghahramani A., Zhu Y. Individual difference in thermal comfort: A literature review. *Building and Environment*. 2018. # 138. P. 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.040>.
17. ДСТУ EN 12831-1:2017 Енергоэффективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження.

BILOUS INNA

Candidate of Technical Sciences, Docent
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6640-103X>
Scopus Author ID: 57194104035
ResearcherID: J-7070-2017
E-mail: bilouys_inna@ukr.net

DESHKO VALERII

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>
Scopus Author ID: 6506189670
ResearcherID: J-6517-2017
E-mail: te@kpi.ua

BUYAK NADIA

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0597-6945>
Scopus Author ID: 57192821169
ResearcherID: S-2915-2019
E-mail: korovaj.te@gmail.com

SAPUNOV ANATOLII

Postgraduate
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6507-7979>
E-mail: anatolii.sap96@gmail.com

^{1,2}DESHKO V. I., ^{1,3}BILOUS I. Y., ¹BUIAK N. A., ¹SAPUNOV A. O.

¹Educational and Research Institute of Thermal and Nuclear Energy, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

²Institute of Technical Thermophysicists of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

³Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

INCREASING THE LEVEL OF ENERGY CONSUMPTION EFFICIENCY IN KINDERGARTEN AND ITS IMPACT ON THE LEVEL OF THERMAL COMFORT

Introduction. People spend about 90% of their time indoors, so a comfortable indoor thermal environment is essential for high levels of productivity and well-being. Assessment of indoor thermal comfort is a key point in the design and operation of heating and ventilation systems, as well as in improving the energy efficiency of buildings.

Purpose. To improve the energy efficiency of buildings and assess the change in thermal comfort for highly sensitive groups of the population on the example of kindergarten visitors with improved thermal protection.

Methodology. The research is carried out using computer modeling in the DesignBuilder software.

Findings. Using computer modeling, we determined the energy demand, additional heat gain and heat loss of a building with different levels of thermal protection and different modes of heating and ventilation. The impact of increasing the level of energy efficiency on thermal comfort was investigated.

Originality. To study the impact of increasing the level of energy efficiency of a building on the level of thermal comfort using computer modeling.

Practical value. Using computer modeling, a 3D model was built and the energy consumption of the building was determined before and after increasing the level of energy efficiency, as well as the impact of building modernization on the level of thermal comfort.

Keywords: energy saving; comfort conditions; computer modeling; preschool educational institution.