

І.Ю. Білоус, О.О. Голубенко

ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ШКОЛИ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ЗАЙНЯТОСТІ ДЛЯ РІЗНИХ РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

Анотація. У статті розглядається актуальна проблема зниження енергоспоживання в українських школах. Дослідження фокусується на енергоефективному використанні шкільних просторів в умовах неповної зайнятості приміщень. Методи аналізу включають енергетичне моделювання в DesignBuilder. Основні результати показують, що розміщення класних кімнат одна над одною забезпечує найвищу енергоефективність, на 22,3% вищу порівняно з іншими конфігураціями. Також виявлено, що без модернізації опалювальної системи неможливо забезпечити комфортні умови у холодні періоди. Результати цієї роботи важливі для розробки стратегій управління шкільними просторами в умовах неповної зайнятості приміщень.

Ключові слова: споживання теплової енергії, енергетичне моделювання будівель, теплова ізоляція будівель.

Вступ

В останні роки перед Україною постало багато викликів. Війна не лише завдала великих збитків, але й в значній мірі змінила повсякдення.

Навчальний процес в школах також зазнав величезних змін. Щонайменше 1,7 мільйони дітей іммігрували за кордон [1], решта зіткнулась з значними проблемами в навчальному процесі.

Дистанційне навчання стало одним з виходів з ситуації, проте певна група школярів не має можливості нормально навчатись в домашніх умовах. При цьому ж значне скорочення кількості учнів ставить під питання доцільність експлуатації будівель шкільних закладів в режимах довоєнного часу.

Данна стаття, ставить за мету дослідити альтернативу типовому режиму експлуатації будівель шкіл, щоб ефективно задовільнити потреби школярів, при цьому скоротивши енергоспоживання школи.

В основі підходу лежить використання частини навчальних класів в умовах законсервованої школи, а також має а мету запропонувати оптимальне

розміщення таких приміщень для максимізації економії. Особлива увага приділяється аналізу ефективності використання енергоресурсів.

В подальшому, це дослідження може бути використати для оптимізації витрат та підвищення ефективності управління шкільними просторами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У контексті сучасних викликів, що стоять перед освітніми установами, зокрема у питанні оптимізації використання шкільних приміщень в умовах неповної зайнятості, важливо звернути увагу на останні наукові дослідження в цій галузі.

Недавні дослідження в області оптимізації систем опалення, вентиляції та кондиціонування підкреслюють значний потенціал зниження енергоспоживання в шкільних приміщеннях. Використання інтелектуальних систем, які адаптуються до реального числа людей у приміщенні, дозволяє не тільки знижувати витрати на енергію, але й підтримувати оптимальний мікроклімат для учнів і вчителів [2-4].

Окремі дослідження акцентують увагу на важливості створення комфортного навчального середовища, звертаючи увагу на такі параметри, як якість повітря (рівень CO₂), температуру, вологість, і освітленість [5-9]. [6] приділяє основну увагу тепловому комфорту в дошкільних навчальних закладах, в [7] досліджується вплив теплового захисту на комфорт, а [8] та [9] фокусуються на якості повітря. Контроль цих параметрів може значно покращити умови перебування учнів у школі, що, в свою чергу, позитивно впливає на їхнє здоров'я, благополуччя та навчальну ефективність.

Використання інноваційних технологічних рішень, таких як інтелектуальні сенсори та системи управління будівлями, може надати керівництву шкіл інструменти для більш точного моніторингу і адаптації шкільного простору під змінні потреби, проте такі дослідження ж більш актуальними за умови нормальної експлуатації будівлі. Проте реалізація інтелектуального керування мікрокліматом будівлі є непростю задачею з точки зору апаратного забезпечення [10].

При цьому ж існує відчутний дефіцит досліджень, присвячених гнучкості використання простору в школах, особливо у контексті неповної зайнятості. Перепланування приміщень для створення багатофункціональних зон, які можна адаптувати під різні потреби, відкриває шляхи для більш ефективного використання ресурсів і простору. Це також включає в себе можливість

оптимізації експлуатації лише частини приміщень залежно від поточних потреб школи.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що сучасні дослідження в області оптимізації умов експлуатації шкільних приміщень у світлі неповної зайнятості відкривають нові перспективи для підвищення ефективності використання ресурсів і створення оптимальних умов для навчання і розвитку учнів.

Мета дослідження

Метою даного дослідження є вивчити підходи до використання приміщень за умови неповної зайнятості та надати рекомендації щодо найбільш енергоефективних рішень в цьому питанні.

Основні матеріали дослідження

Об'єктом дослідження є імітаційна модель будівлі середньої загальноосвітньої школи, що базується на реально існуючій будівлі СЗШ розташованої в Івано-Франківській області. Школа має три поверхи та типову для шкіл Н-подібну форму. Рік побудови 1966. Загальна площа будівлі 1959,35м².

Огороджуючі конструкції будівлі мають наступну конфігурацію:

- стіни — червона цегла 0,525м без додаткової ізоляції;
- вікна — металопластиковий профіль, двокамерні (заміна вікон проводилася нещодавно);
- підлога — підлога по ґрунту, бетонна плита 0,25м, фініш; приведений коефіцієнт теплопередачі 0,31Вт/(м²К),
- дах — бетонна плита 0,25м, бітум.

Опір огорожень будівлі представлений в табл.1.

Опалення забезпечене власною газовою котельнею, система теплопостачання — водяна, двотрубна, система механічної вентиляції та рекуперації відсутня.

При цьому, будівля розглядається в частково «законсервованому» стані, тобто, система опалення та ГВП будівлі не експлуатується, а більшість приміщень залишаються неопалювальними.

З будівлі виділяється блок класів з п'яти класів, які можуть бути використані для перебування в них учнів, та пропонується розглянути оптимальне розміщення дітей в трьох із них.

«Системні технології» 1 (150) 2024 «System technologies»

Опалення цих приміщень забезпечується нагрівачами для забезпечення комфортних умов перебування дітей в приміщеннях без необхідності експлуатувати систему опалення шкільного закладу.

З метою узагальнення результатів, огорожуючі конструкції будівлі були доведені до мінімальних значень згідно ДБН В.2.6-31:2016 та ДБН В.2.6-31:2016 [11,12]. Різниця між теплофізичними властивостями реальної та промодельованої будівлі наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій,
використані в моделях, Вт/(м²К)

Тип огородження	Існуючий стан	ДБН В.2.6-31:2016	ДБН В.2.6-31:2021
зовнішні стіни	0,8	0,303	0,25
вікна	1,67	1,33	1,11
дах	0,89	0,167	0,143

Дослідження проводилось на основі енергетичного моделювання будівлі в програмному середовищі DesignBuilder [13].

DesignBuilder дозволяє проводити динамічне моделювання енергоспоживання будівлі з урахуванням детального відображення графіків присутності людей, обладнання та освітлення. Також, програма враховує перетопи між приміщеннями, що критично для даного дослідження.

До того ж, DesignBuilder дозволяє використовувати погодні дані кліматичного файлу IWEC [14], що враховують температури зовнішнього повітря, вплив вітру та сонця в суб-годинних часових інтервалах.

В цілях дослідження з будівлі був виділений блок з п'яти навчальних кімнат (рис. 1.).

Репрезентативні приміщення мають опалювальну площу 45-48м², в залежності від розміщення приміщень. Площа стін, що контактують з неопалювальними приміщеннями сягає 75,5м², площа зовнішньої стіни не перевищує 30м², скління задане на рівні 30%.

Класні кімнати для дослідження були обрані з ряду причин:

- В будівлі обмежена кількість класних кімнат розташованих один-над-одною;
- Розмір обраних кімнат є репрезентативним для даної будівлі;
- Приміщення спрямовані на Південь, тобто, для цих приміщень сонячні теплонадходження є максимальними.

Надалі, для подальшого дослідження, були розроблені 4 конфігурації розміщення експлуатуємих приміщень одне відносно одного. Запропоновані конфігурації наведені на рисунку 2.

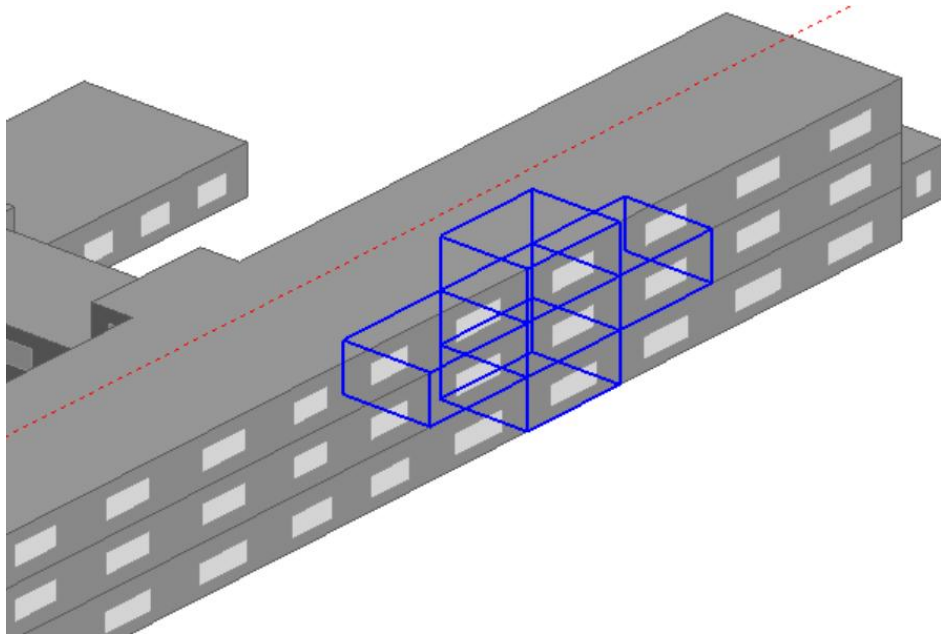
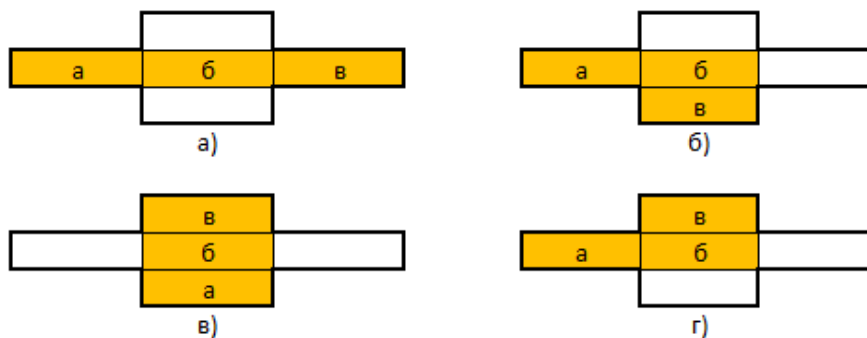


Рисунок 1 – Досліджувані приміщення будівлі



- а) Без контакту з дахом та підлогою (конфігурація А);
б) контакт з однією зовнішньою стіною та підлогою (конфігурація Б);
в) без контакту з зовнішніми стінами (конфігурація В);
г) контакт з однією стіною та дахом (конфігурація Г)

Рисунок 2 – Запропоновані приклади розміщених приміщень при неповній зайнятості будівлі

Кожна з досліджуваних конфігурацій має свої переваги, а саме:

- Конфігурація А – приміщення контактують в більшості з неопалювальними приміщеннями, відсутність контакту з дахом та підлогою по ґрунту.

«Системні технології» 1 (150) 2024 «System technologies»

- Конфігурація Б – відсутність контакту з дахом будівлі, доступ до одного з приміщень відбувається через перший поверх будівлі.
- Конфігурація В – мінімальна кількість контакту з неопалювальними приміщеннями, потенційні теплонадходження від даху.
- Конфігурація Г – відсутність контакту з підлогою по ґрунту, потенційні теплонадходження від даху будівлі.

Для приміщень, що експлуатуються, були розроблені графіки присутності людей, використання освітлення та обладнання, а також графік опалення (рис. 3) з урахуванням типових свят та канікул.

Таблиця 2

Графік використаний для приміщень з присутністю людей

Система опалення			Присутність людей, використання обладнання та освітлення		
Година	Пн-Пт	Вихідні та святкові дні	Година	Пн-Пт	Вихідні та святкові дні
00:00-6:00	Відімкнено	Відімкнено	00:00-6:00	0	0
6:00-7:00	16°C	Відімкнено	6:00-8:00	0	0
7:00-15:00	20°C	Відімкнено	8:00-15:00	100%	0
15:00-16:00	16°C	Відімкнено	15:00-16:00	0	0
16:00-24:00	Відімкнено	Відімкнено	16:00-24:00	0	0

В приміщеннях введено регулювання опалювальних приладів з цільовим рівнем температури повітря встановленому на рівні 20°C згідно з [15].

В цілях економії, пропонується повністю вимикати нагрівачі з 16:00 до 6:00, оскільки будівля законсервована та ризик пошкодження будівлі відсутній, проте, за дві години до початку навчального процесу пропонується прогрівати приміщення для досягнення нормального рівня температури на момент прибуття людей.

Першим кроком в дослідженні стало визначення ефективності розміщення приміщень на основі енергоспоживання системою опалення для будівель з трьома рівнями теплоізоляції згаданими вище. Результати моделювання споживання системою опалення в річному зрізі наведені на рисунку 3:

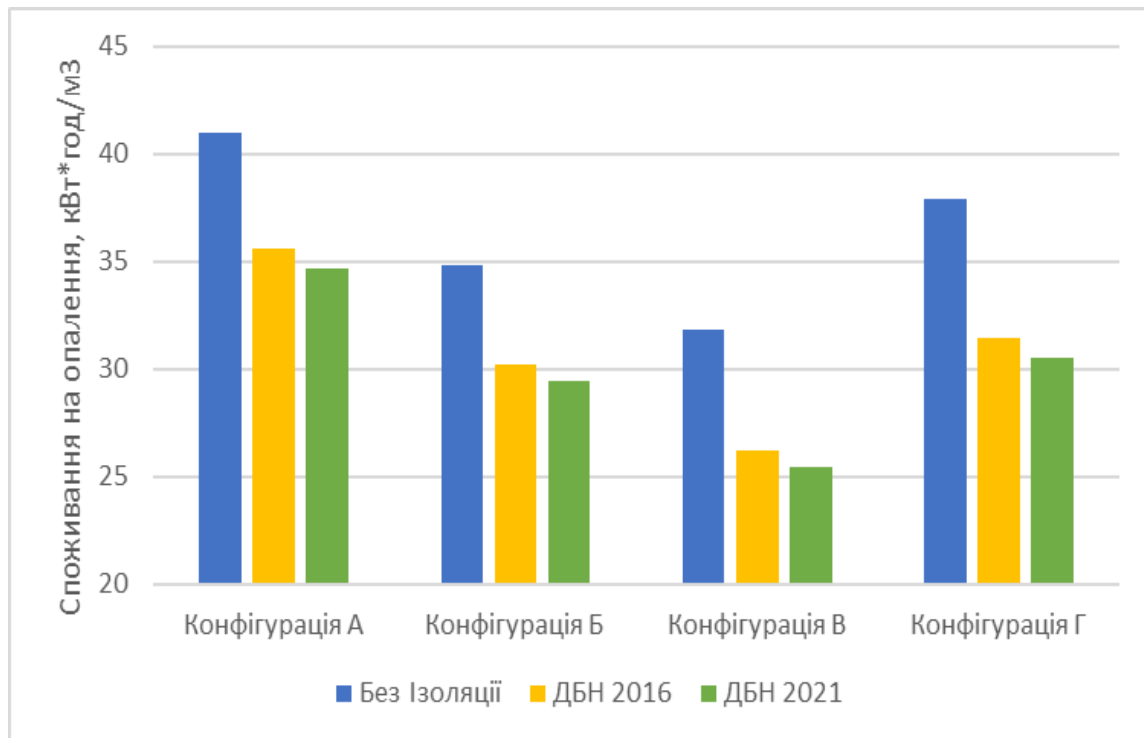


Рисунок 3 – Питоме споживання енергії системою опалення для різних конфігурацій розміщення приміщень та різних рівнів ізоляції будівлі

Аналіз річного споживання енергії на опалення показує, що, Конфігурація В є найкращою з точки зору енергоефективності, показуючи як мінімум на 8,5% менше споживання відносно інших варіацій (22,3% відносно А, 8,5% відносно Б та 16% відносно Г).

Таке покращення викликано меншою значно площею огорожуючих конструкцій що контактують з неопалювальними приміщеннями.

До того ж, варіант В очікувано є найбільш чутливим до покращення теплоізоляції будівлі, оскільки контактує з дахом. Покращення до рівня ДБН 2016 року зменшує споживання енергії на 17,7%, а до рівня ДБН 2021 року на 20,2%.

Конфігурація А призводить до найбільшого споживання енергії. Таким чином, можна зробити висновок, що експлуатація лише одного поверху будівлі не є ефективним рішенням, тим самим, виключаючи використання, наприклад, ряду приміщень на першому поверсі з метою поліпшення доступу до навчальних класів.

Конфігурації Б та Г є близькими по енергосоживанню, тобто, сонячні теплонадходження на дах не перекривають втрати через огорожуючі конструкції. До того ж, зі збільшення рівня ізоляції будівлі різниця між цими випадками

знижується (8,2%, 3,8% та 3,6% для будівлі без ізоляції, утепленої до нормативу 2016 та 2021 років відповідно), що дає змогу припустити, що для будівель з високим рівнем ізоляції даху режим Г буде більш вигідним.

Іншим важливим чинником для можливості впровадження таких режимів експлуатації будівель є комфортність перебування людей в приміщеннях.

Для цього для випадку В, як найбільш ефективного проведений аналіз температури повітря та радіаційної температури, як репрезентативних показників термічної комфортності в приміщенні в почасовому зрізі.

Коливання температури повітря та радіаційної температури для кожного з приміщень для найхолоднішої доби серед навчальних днів (за результатами моделювання це 9 січня) досліджуваного року (2020р.) приведені на рисунках 4 та 5:

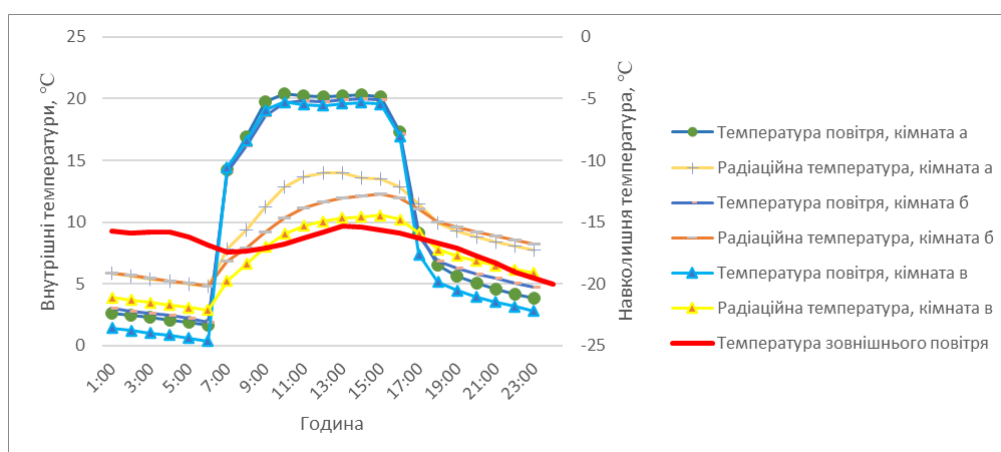


Рисунок 4 – Температура повітря та середня радіаційна температури для найхолоднішої доби року, випадок будівлі без ізоляції

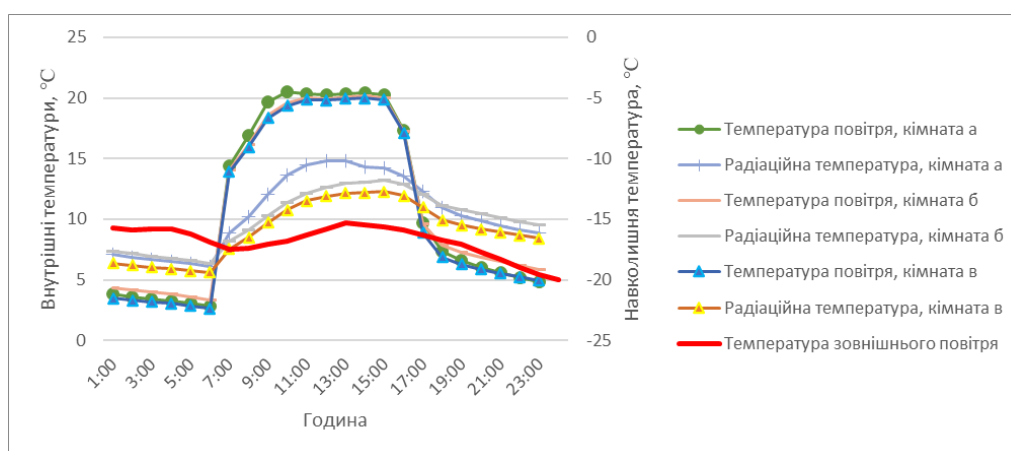


Рисунок 5 – Температура повітря та середня радіаційна температури для найхолоднішої доби року, випадок будівлі утепленої до вимог ДБН 2016 року

Аналіз показує значне зниження радіаційної температури відносно температури внутрішнього повітря, яка в найгіршому варіанті (будівля без ізоляції, кімната в) досягає 8°C в часи перебування людей в будівлі, що звісно, не є комфортними умовами.

Ситуацію покращує збільшення ізоляції будівлі, таким чином, можна досягти температури 10°C для цього самого випадку.

Виходячи з отриманих результатів, впровадження таких режимів зайнятості без попередньої модернізації будівлі не рекомендується, виходячи з міркувань комфортності перебування в приміщеннях.

Також на графіках помітне різке зростання температури повітря в кімнаті, що свідчить про високу потужність приладів опалення. Результати симуляції потужності системи опалення наведені на рисунку 6:

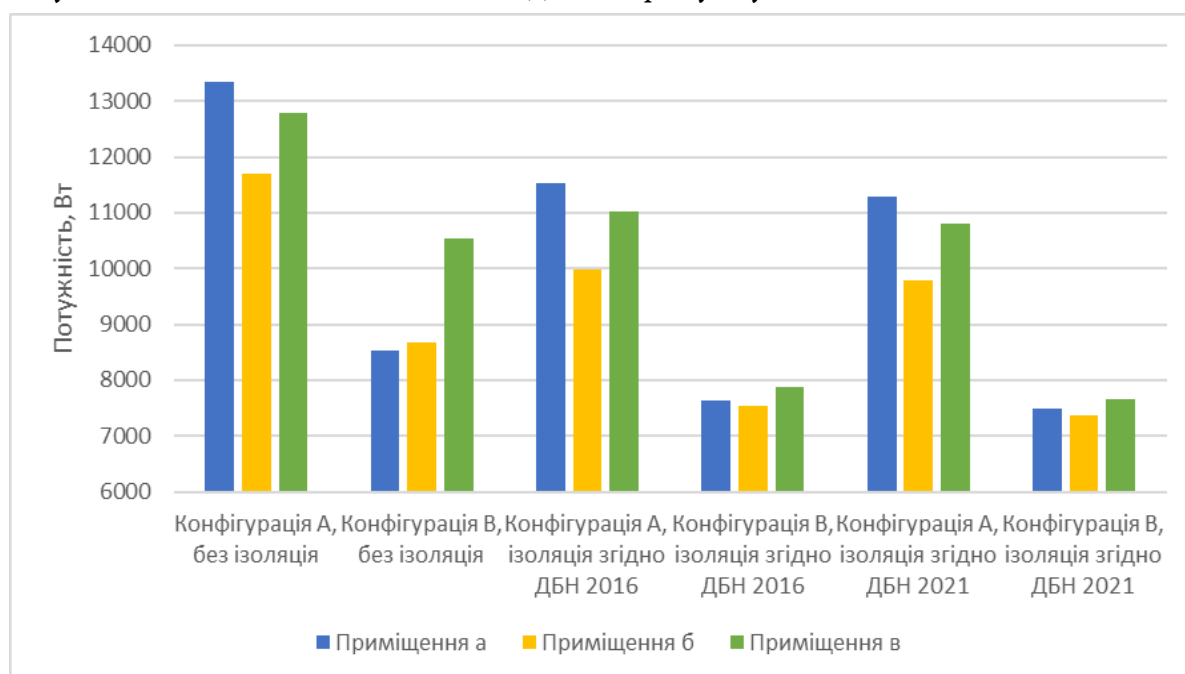


Рисунок 6 – Необхідна потужність системи опалення при впровадженні заходу

Необхідна потужність коливається від 7,3 до 13,4 кВт. Таким чином, рекомендувати запропоновані режими експлуатації можна в двох випадках: якщо в будівлі наявна система централізованого опалення з регулюванням на приладах опалення, або за умови суттєвого збільшення потужності локальних опалювальних приладів.

Оскільки більш типовим випадком є теплова потужність опалювальних приладів в приміщенні близько 2кВт. Аналіз внутрішніх температур для вертикального розміщення приміщень з типовою потужністю опалювальних

приладів та доведеними до мінімальних вимог ДБН 2021 огорожувальними конструкціями наведено на рисунку 7:

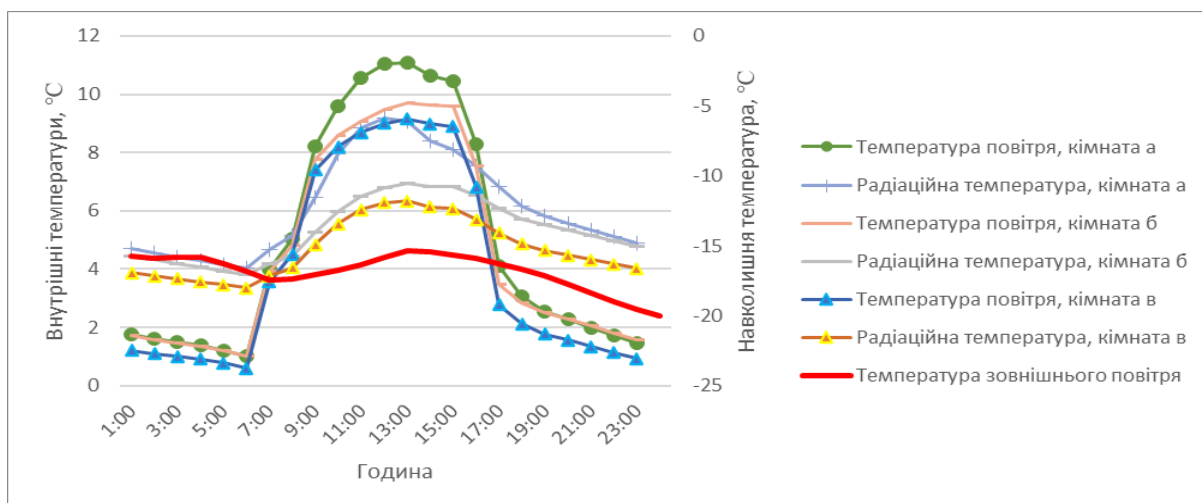


Рисунок 7 – Температура повітря та середня радіаційна температури для найхолоднішої доби року, випадок будівлі без ізоляції

При використанні 2кВт опалювальних приладів система опалення не може задовільнити мінімальну температуру повітря при переривчастому режимі, навіть в випадку добре ізольованої будівлі,

Середня радіаційна температура також не відповідає комфортним умовам.

Оскільки прилади опалення не можуть задовільнити комфортні умови при переривчастому графіку опалення, також були проаналізовані температури для постійного режиму опалення (рис. 8).

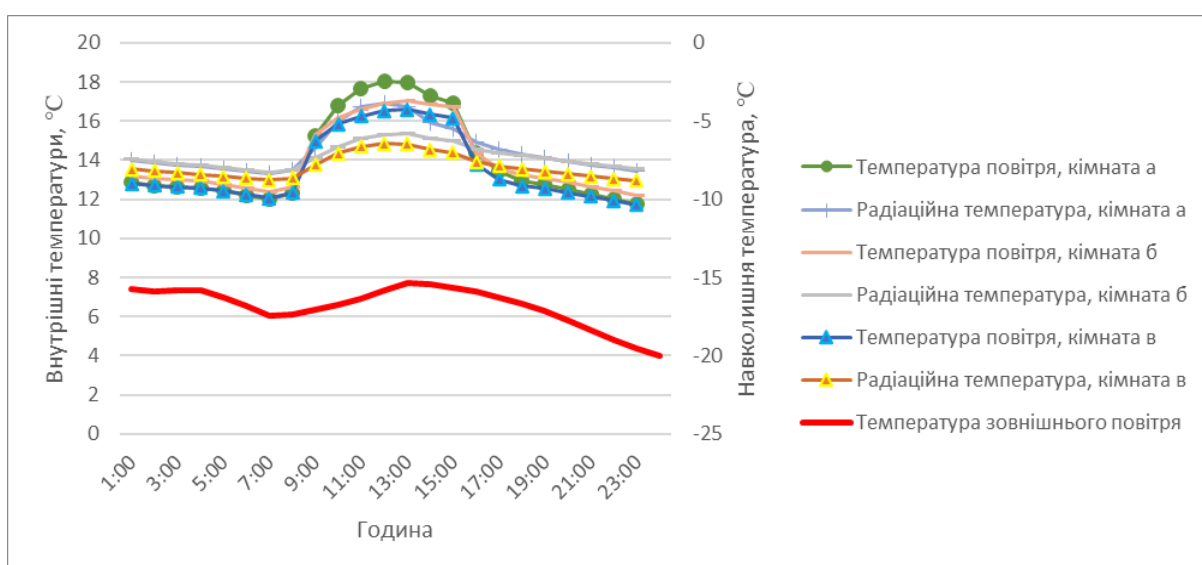


Рисунок 8 – Температура повітря та середня радіаційна температури для найхолоднішої доби року, випадок будівлі без ізоляції

Навіть при постійному графіку опалення, в періоди перебування людей в приміщенні температура повітря не досягає мінімальних нормативних 18°C .

Висновки

Сучасні умови в Україні, особливо з огляду на демографічні зміни та вплив війни, ставлять нові виклики перед системою освіти, зокрема в контексті ефективного використання та управління шкільними просторами. Дослідження, проведене в рамках цієї статті, висвітлює потенціал оптимізації режимів експлуатації шкільних будівель в умовах неповної зайнятості, з метою зниження енергоспоживання та забезпечення комфортних умов для учнів.

Аналіз енергетичного моделювання в програмному середовищі DesignBuilder показує, що варіанти конфігурації класних кімнат можуть значно впливати на енергоефективність будівлі. Наприклад, для варіанту без ізоляції, розміщення приміщень в ряд показало питоме споживання на опалення $41\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, для розміщення «літерою Г» $34,8\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, а для вертикального розміщення $31,8\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.

Найкращі результати з точки зору енергоефективності були отримані для конфігурації розміщення кімнат одна-над-одною, перевершивши варіант з розміщенням трьох кімнат на середньому поверсі на 22,3%, та комбіновані конфігурації на 8,5% та 16%. Такий результат досягається за рахунок мінімізацію контакту з неопалюваними приміщеннями та максимального використання сонячних теплонадходжень. Водночас, модернізація теплоізоляції будівлі підвищує ефективність використання енергії та забезпечує більш комфортні умови для перебування учнів.

Вертикальне розміщення також забезпечує більш комфортні умови перебування в приміщенні в порівнянні з іншими конфігураціями.

Проте, важливо підкреслити, що без відповідної модернізації будівлі, використання обмежених приміщень може не забезпечувати належних умов комфорту, в холодні періоди. Для досліджуваних кімнат (площа $45\text{-}48\text{м}^2$) необхідна потужність опалювальних приладів, що потребуються для забезпечення комфортних умов варіюється від 7,5 до $10,5\text{кВт}$ в залежності від рівня ізоляції, що в 3-5 разів більше за стандартну потужність опалювальних приладів для такого типу приміщень.

Забезпечення комфортних умов без модернізації системи опалення в холодні періоди року неможливе навіть при високих показниках теплоізоляції будівлі та постійному графіку опалення.

Таким чином, впровадження часткового використання будівлі навчальних закладів, не зважаючи на високий потенціал збереження енергії не може задовільнити умови комфортності учнів без відповідних покращень. Проте, при виборі конфігурації розміщення приміщень, варто обирати розміщення приміщень одне-над-одним, як з точки зору енергоефективності, так і з точки зору теплового комфорту.

У майбутньому, такі дослідження можуть слугувати основою для розробки комплексних стратегій управління шкільними просторами, що враховують змінні умови використання будівель та забезпечують оптимальне поєднання енергоефективності, економічності та комфорту для учнів та персоналу. Результати цього дослідження можуть бути корисними для шкільних адміністрацій, місцевих органів управління освітою, а також для розробників політики в галузі освіти і енергоефективності.

В наступних дослідженнях пропонується дослідити вплив ізоляції внутрішніх стін будівлі, підвищення потужності опалювальних приладів та опалення некондиціонованих кімнат до певного рівня температури на енергоефективність та умови комфорту в приміщеннях де розміщені люди.

ЛІТЕРАТУРА

1. "Чисельність українців та їх міграція за кордон через війну — дослідження Громадянської мережі ОПОРА". Громадянська мережа ОПОРА. Доступно онлайн: www.opora.ua.org/viyna/kilkist-ukrayintsiv-ta-yikh-migratsiia-za-kordon-cherez-viinu-doslidzhennia-gromadianskoyi-merezhi-opora-24791.
2. Дешко О.В., Білоус І.Ю., Буяк Н.А., Петрученко О.В. "Енергоефективність короткочасних режимів опалення будівель з різними теплофізичними характеристиками огорожувальних конструкцій". Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування. 2021, № 2, С. 32-41.
3. Дешко В. І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А., Петрученко О.В. "Аналіз впливу енергоефективних режимів опалення на енергоспоживання будівель на основі математичного моделювання". Енергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал. 2020, № 4 (62), С. 32-41.
4. Кепко О.І., Кузьмін О.В., Кузьміна О.В., Лисенко О.В. "Енергозберігаючі режими роботи систем опалення та вентиляції теплиць". Науковий вісник НТУУ. 2021, № 2, С. 15.
5. Беліков А.С., Железняков Є.О. "Про питання забезпечення умов мікроклімату та безпеки експлуатації систем тепlopостачання при аварійних відключеннях

теплопостачання". Український журнал будівництва та архітектури, 2018, № 5 (017), С. 96-102.

6. Дешко, В.І., Білоус, І.Ю., Буяк, Н. А., Сапунов, А. О. "Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в дитячому садку та його вплив на рівень теплового комфорту". Технології та інженерія. 2023, № 2 (13), С. 27-35.

7. Дешко, В.І., Буяк, Н.А., Білоус, І.Ю. "Підбір теплозахисту та джерела тепла з урахуванням комфортних умов у будівлі". Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія «Технічні науки». 2015, № 5 (90), С. 71-80.

8. Дешко, В.І., Білоус, І.Ю., Винорадов-Салтиков, В. О., Суходуб, І. О., Яценко, О. І. "Експериментальне дослідження якості повітря та повітрообміну в навчальних закладах та житлових будинках". Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. 2020, № 4 (148), С. 25-37.

9. Гетьманчук, Ганна Олександрівна. "Оцінка децентралізованого рівня природного повітрообміну з урахуванням мінливості внутрішніх і зовнішніх умов". Магістерська робота, спеціальність 144 Теплова енергетика. Київ, 2020.

10. Кузнецов, І.І. "Комп'ютерна система визначення якості повітря в приміщеннях". Дипломна робота бакалавра, спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія. Науковий керівник Д. В. Стаценко. Київ: КНУТД, 2023.

11. ДБН В.2.6-31:2016. "Конструкції будівель і споруд. Теплоізоляція будівель". Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017.

12. ДБН В.2.6-31:2021. "Теплоізоляція будівель". Міністерство розвитку громад і територій України, 2022.

13. "Офіційний сайт DesignBuilder". Доступно онлайн: <https://designbuilder.co.uk/>.

14. "Американське товариство інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування повітря (ASHRAE), Inc., Атланта, Джорджія, США". Доступно онлайн: <http://ashrae.whiteboxtechnologies.com/home>.

15. "Інформація про здійснення державного нагляду в закладах освіти щодо дотримання температурного режиму в опалювальний сезон", 18 грудня 2018 р.

REFERENCES

1. The number of Ukrainians and their migration abroad due to the war — a study by the Civil Network OPORA [Electronic resource] www.opora.ua.org/viyana/kilkist-

ukrayintsiv-ta-yikh-migratsiia-za-kordon-cherez-viinu-doslidzhennia-gromadianskoyi- merezhi-opora-24791

2. Energy efficiency of intermittent modes of heating of buildings with different thermophysical characteristics of enclosing structures / O.V. Deshko, I.Yu. Bilous, N.A. Buyak, O.V. Petruchenko // Bulletin of NTUU "KPI". Series: Mechanical engineering. – 2021. – No. 2. – pp. 32-41.

3. Bilous I.Yu., Deshko V.I., Buyak N.A., Petruchenko O.V. Analysis of the influence of energy-efficient heating modes on the energy consumption of buildings based on mathematical modeling. Scientific magazine "Energy: economy, technologies, ecology". 2021. No. 4. pp. 32-42

4. Energy-saving modes of operation of heating and ventilation systems of greenhouses / O.I. Kepko, O.V. Kuzmin, O.V. Kuzmina, O.V. Lysenko // Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine. 2021. No. 2. P. 15. (<https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/615ad6c7-85de-480d-99eb-d4fa4faa00be/content>)

5. Belikov A.S., Zheleznyakov E.O. On the issue of ensuring microclimate conditions and safety of operation of heat supply systems in case of emergency shutdowns of heat supply. Ukrainian Journal of Construction and Architecture, No. 5 (017), pp. 96-102

6. V. I. Deshko, I. Yu. Bilous, N. A. Buyak, A. O. Sapunov. Increasing the level of efficiency of energy consumption in a kindergarten and its effect on the level of thermal comfort. Technologies and engineering. - 2023. - No. 2 (13). - pp. 27-35.

7. V.I. Deshko, N.A. Buyak, I.Yu. Bilous. Selection of thermal protection and heat source, taking into account comfortable conditions in the building. Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Series "Technical Sciences". - 2015. - No. 5 (90). - pp. 71-80.

8. V.I. Deshko, I.Yu. Bilous, V.O. Vynoradov-Saltykov, I.O. Sukhodub, O.I. Yatsenko. Experimental study of air quality and air exchange in educational institutions and residential buildings. Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Series Technical sciences. - 2020. - No. 4 (148). - P. 25-37.

9. Assessment of the decentralized level of natural air exchange taking into account the variability of internal and external conditions: master's thesis. : 144 Thermal energy / Hanna Oleksandrivna Hetmanchuk. - Kyiv, 2020. - 103 p.

10. I.I. Kuznetsov. Computer system for determination of indoor air quality: bachelor's diploma thesis on specialty 123 Computer engineering / I. I. Kuznetsov; of science driver D. V. Statsenko. - Kyiv: KNUTD, 2023. - 66 p.

11. DBN V.2.6-31:2016. Structures of buildings and structures. Thermal insulation of buildings. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2017. 12 p.
12. DBN V.2.6-31:2021. Thermal insulation of buildings. Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine, 2022. 7 p.
13. DesignBuilder official website [Electronic resource] <https://designbuilder.co.uk/>
14. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Inc., Atlanta, GA, USA [Electronic resource] <http://ashrae.whiteboxtechnologies.com/home>
15. Information on the implementation of state supervision in educational institutions regarding compliance with the temperature regime during the heating season. State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection, December 18, 2018.

Received 10.02.2024.
Accepted 19.02.2024.

Energy consumption of the school under conditions of partial occupancy for different heating modes

The challenges facing the Ukrainian education system, particularly in light of demographic changes and the impact of war, are examined in this research. It highlights the potential for optimizing the operation modes of school buildings under conditions of partial occupancy to reduce energy consumption and ensure comfortable conditions for students.

Energy modeling analysis using DesignBuilder software shows that the configuration of classrooms significantly impacts the energy efficiency of buildings. The best results for energy efficiency were achieved with rooms stacked on top of each other, outperforming the variant with three rooms on the middle floor by 22.3%, and mixed configurations by 8.5% and 16%. This efficiency is due to minimized contact with unheated premises and maximized solar heat gains. However, without appropriate building upgrades, the use of limited spaces may not provide adequate comfort conditions in colder periods. For the rooms studied (45-48m²), the required heating device capacity to maintain comfortable conditions varies from 7.5 to 10.5 kW, depending on the level of insulation, which is 3-5 times more than the standard capacity for such spaces.

Providing comfortable conditions without upgrading the heating system in cold periods is unfeasible, even with high levels of building insulation and a constant heating schedule. Therefore, implementing partial use of school buildings, despite their high po-

tential for energy savings, cannot satisfy student comfort needs without corresponding improvements.

Future research could provide a foundation for developing comprehensive strategies for managing school spaces, considering variable building usage conditions and ensuring an optimal combination of energy efficiency, cost-effectiveness, and comfort for students and staff. The findings can be useful for school administrations, local educational authorities, and policymakers in education and energy efficiency. Further studies are suggested to explore the impact of internal wall insulation, increased heating device capacity, and heating unconditioned rooms to a certain temperature level on energy efficiency and comfort conditions in occupied spaces.

Keywords: *thermal energy consumption, building energy modeling, thermal insulation of buildings.*

Білоус Інна Юріївна - Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», Старший науковий співробітник, Інституту загальної енергетики НАН України.

Голубенко Олександр Олександрович - Аспірант кафедри теплової та альтернативної енергетики, Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Bilous Inna Yuriivna - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Thermal and Alternative Energy, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Senior researcher, The General Energy Institute of National Academy of Sciences of Ukraine.

Oleksandr Oleksandrovich Holubenko - PhD student of the Department of Thermal and Alternative Energy, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.