

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.4>

УДК 697.1

^{1,2}ДЕШКО В. І., ¹ГОЛУБЕНКО О. О.

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

²Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

ВПЛИВ ВИКОРИСТАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ ТЕРМОСТАТІВ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ ШКІЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

Вступ. Варіації пониження температури в періоди невикористання будівлі показали свою ефективність, як захід з енергозбереження. Проте, в заходах, пов'язаних з терморегулюванням зберігається потенціал енергозбереження, пов'язаний з більш детальними графіками опалення. Дослідження переваг та недоліків детальних графіків опалення для програмування термостатів стає важливим напрямком в розвитку сучасних систем опалення та кондиціонування.

Мета. Метою даного дослідження є дослідження переваг та недоліків впровадження терморегулювання системи опалення на базі шкільного розкладу уроків.

Методика. Дослідження виконуються на базі енергетичного моделювання у програмному середовищі DesignBuilder.

Результати. За результатами енергетичного моделювання будівлі було досліджено вплив впровадження графіку опалення на основі розкладу шкільних занять для будівель з різним рівнем теплового захисту. Графік опалення, оснований на розкладі занять, показав ряд переваг перед простішим графіком з провалами в неробочі години, а саме, вищу на понад 3% енергоефективність і зниження пікового навантаження на систему опалення на 3,3–3,7%.

Наукова новизна. Досліджено вплив впровадження графіку опалення, оснований на розкладі занять, на енергоефективність в будівлі школи та комфортність перебування людей в приміщеннях.

Практична значимість. Врахування кліматичних та будівельних особливостей, а також нівелювання впливу людського фактору, шляхом впровадження програмованих термостатів, може сприяти розробці ефективних стратегій управління опаленням, що, в свою чергу, призведе до значної економії енергоресурсів.

Ключові слова: енергозбереження; енергетичне моделювання будівель; графіки опалення, комфортні умови.

Вступ. Не зважаючи на те, що найбільша група споживачів серед будівель та споруд це житлові будівлі, все більше уваги в дослідженнях приділяється нежитловим споживачам, оскільки вони є гарними кандидатами для впровадження мало затратних заходів з енергозбереження, в основі яких лежить оптимальне використання будівлі. При цьому, значна увага приділяється будівлям шкільних заходів, оскільки перебування людей в приміщеннях легко прогнозується.

Останні дослідження в області енергоефективності та оптимізації систем опалення в шкільних закладах вказують на перспективність впровадження енергоефективних режимів опалення для зменшення енергоспоживання без впливу на комфорт людей в приміщеннях, оскільки учні досить чутливі до внутрішнього мікроклімату група [1–4].

В дослідження часто виділяють спрощені режими, беручи до уваги відсутність систем «розумного» управління в більшості шкіл країни, проте підкреслюють, що енергоефективні режими опалення можуть бути досягнуті шляхом інтеграції цих технологій [5, 6]. Впровадження таких засобів дозволяє оптимально використовувати енергію, реагуючи на зміни у складі учнів, внутрішній та зовнішній температур повітря або за встановленим графіком, при цьому забезпечуючи комфортні умови перебування в приміщеннях. Як приклад, міжнародно визнаний норматив ASHRAE [7], регламентує температуру опалення на рівні 21°C з 8:00 до 20:00 в робочі дні, та 15,5°C в всі інші години.

Загалом, останні наукові дослідження вказують на те, що впровадження просунутих систем регулювання в будівлях є перспективним напрямком з точки зору енергоефективності, проте досить мало уваги приділяється шляхам реалізації такого заходу з енергозбереження [8].

В даній роботі пропонується дослідити можливість використання навчального графіку СЗШ як бази для програмування термостатів в навчальних приміщеннях, беручи до уваги комфорт знаходження учнів в приміщеннях при впровадженні такого регулювання

Обрана тема «Вплив використання розкладу занять для програмування термостатів на енергоспоживання будівлі шкільного закладу» є належною, актуальною та перспективною для подальших наукових досліджень. Дослідження в цьому напрямку спрямоване на створення оптимальних умов опалення, які одночасно гарантують комфорт для учнів та персоналу та сприяють раціональному використанню енергоресурсів. До того ж, дослідження терморегулювання закладів шкільної освіти можуть надати поштовх до впровадження поліпшеного терморегулювання в будівлях з постійним графіком експлуатації, не зважаючи на складність цих графіків.

Постановка завдання. В сучасному світі, де енергоефективність та сталість енергопостачання стають важливими завданнями, вирішення проблем ефективного використання енергії у будівлях є актуальною науковою та практичною задачею. Особливу увагу привертає опалювальний режим будівель, який є ключовим чинником споживання енергії в опалювальний період року.

Метою дослідження є дослідження впливу переривчастих графіків опалення, що базуються на розкладі шкільних занять на енергоефективність будівлі та комфортність перебування людей в приміщеннях, в яких такі графіки використовуються.

Опис об'єкта дослідження. Об'єктом дослідження є імітаційна модель будівлі середньої загальноосвітньої школи, що базується на реально існуючій будівлі СЗШ розташованій в Івано-Франківській області. Школа має три поверхи та типову для шкіл Н-подібну форму. Для моделювання енергетичних процесів та теплового режиму шкільної будівлі, використовувалася програма DesingBuilder, на основі EnergyPlus [9, 10].

Характеристики огорожувальних конструкцій базової моделі:

Стіни: виготовлені з червоної цегли товщиною 0,525м і не мають додаткового шару ізоляції.

Вікна: двокамерними, виготовлені з металопластикового профілю.

Підлога по ґрунту: представлена бетонною плитою товщиною 0,25м, на піщаній підсищі, без додаткової ізоляції.

Дах: складається з бетонної плити товщиною 0,25м, покритої бітумом.

Система опалення прийнята при симуляції – електронагрівачі в кожному приміщенні для зменшення впливу втрат в механічних системах при аналізі. Також, необхідно зазначити, що надходження свіжого повітря відбуваються за рахунок натуральної вентиляції, системи механічної вентиляції та рекуперації відсутня.

Система гарячого водопостачання організована за допомогою електричних водонагрівачів, розташованих безпосередньо біля точок споживання. Важливо зауважити, що ця система призначена лише для задоволення потреб шкільної кухні.

З метою більш широкого дослідження, огорожуючі конструкції будівлі були приведені до мінімальних значень відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2016 та ДБН В.2.6-31:2021 [11, 12], таким чином відображаючи три найбільш типові стани будівель шкільних закладів в Україні. А саме:

- Базова модель – школа що не пройшла термомодернізацію;
- ДБН В.2.6-31:2016 – школа що пройшла термомодернізацію раніше;
- ДБН В.2.6-31:2021 – школа що пройшла сучасну термомодернізацію.

Теплофізичні характеристики огорожуючих конструкцій, що були використані при моделюванні наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій, використані в моделях,
 $Wm/(m^2K)$

Тип огороження	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

Використання DesignBuilder дозволили проводити динамічне моделювання енергопотребити та енергоспоживання будівлі з урахуванням детального відображення графіків присутності людей. Інші чинники, що враховуються програмою при моделюванні це кліматологія, обладнання та інтенсивність його використання, огорожуючі конструкції будівлі, тип опалення і т.д. 3-D візуалізація будівлі з програми наведена на рисунку 1.

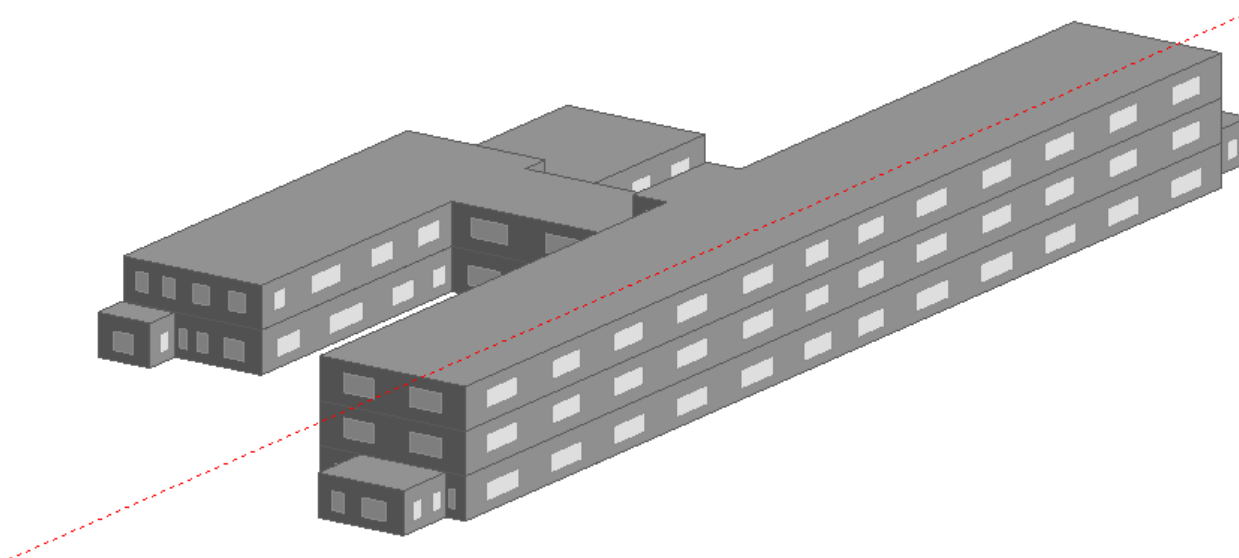


Рис. 1. Модель будівлі у DesignBuilder

В моделі об'єкту дослідження були просимульовані кожне з приміщень як окрема термічна зона з індивідуальним графіком присутності людей, температурою та електричним обладнанням, в залежності від призначення приміщення, всього 149 термічних зон. Це дало змогу максимально точно відобразити реальні умови експлуатації будівлі.

В базовій моделі для кожного з навчальних приміщень були розроблені окремі графіки експлуатації. Опалення не регулюється, задано на постійному рівні 20°C відповідно до [13].

Для другого режиму в графік опалення був доданий провал на 4°C в неробочі години будівлі (навчальний процес відбувається з 8 до 16 години). Величину провалу було обрано як максимально рекомендований за [3].

Для режиму 3, для кожного навчального класу були розроблені графіки використання системи опалення, що відповідають розкладу шкільних занять. В години відсутності людей в приміщеннях, аналогічно для режиму 2 заданий провал в 4°C. Для відображення даного режиму було розроблено 50 індивідуальних графіків опалення, що відповідають реальному розкладу занять школи. В цілому, графік дозволив скоротити часи повного опалення для всіх приміщень загалом з 1500 до 1032 годин на тиждень.

Отже, досліджується три режими:

1. Постійне опалення 20°C.
2. Пониження температури внутрішнього повітря на 4°C в неробочі години.
3. Опалення згідно з розкладом занять, з пониженням температури внутрішнього повітря на 4°C в години відсутності людей.

Результати моделювань. За результатами моделювання було побудовано ряд графіків, що відображають енергоспоживання системою опалення будівлі в річному зрізі для будівлі з тепловим захистом відповідно до реального стану, мінімальних вимог ДБН В.2.6-31:2016 та ДБН В.2.6-31:2021 (рис. 2).

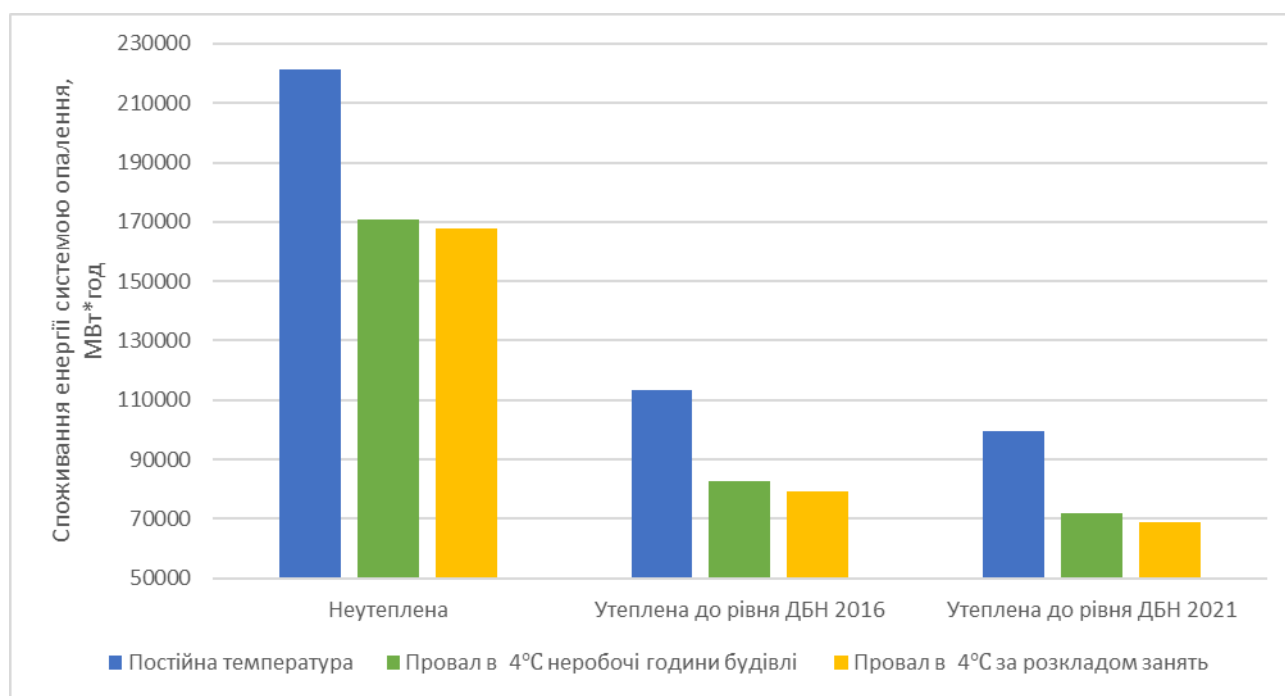


Рис. 2. Річне споживання енергії на опалення

Динамічне моделювання показало, що впровадження графіків опалення значно вплинуло на енергоспоживання в будівлі.

При аналізі різних режимів опалення, було встановлено, що впровадження провалів в неробочі години забезпечує значну економію енергії. Наприклад, у випадку неутепленої будівлі цей підхід дозволив знизити енергоспоживання з 221,29 МВт*год до 170,66 МВт*год, тобто на 22,9%. Це демонструє ефективність адаптації систем опалення до реальних потреб будівлі.

При впровадженні впровадження графіка опалення, який враховує розклад занять, спостерігається додаткове зниження споживання енергії. Для тієї ж неутепленої будівлі споживання знизилося до 167,58 МВт*год.

Згідно з результатами моделювання, режим 3 (графік, що враховує розклад занять) дозволяє зменшити споживання енергії на опалення на 1,8–4,2% відносно режиму 2 (провал в неробочі години), при чому, відносна економія зростає з покращенням рівня ізоляції будівлі.

Для дослідження особливостей індивідуальних днів розкладу, та їх впливу на споживання енергії системою опалення було проведено поденний аналіз енергоспоживання. Осередненні результати моделювання в поденному зрізі наведено на рис. 3, 4 та 5 наведені результати.

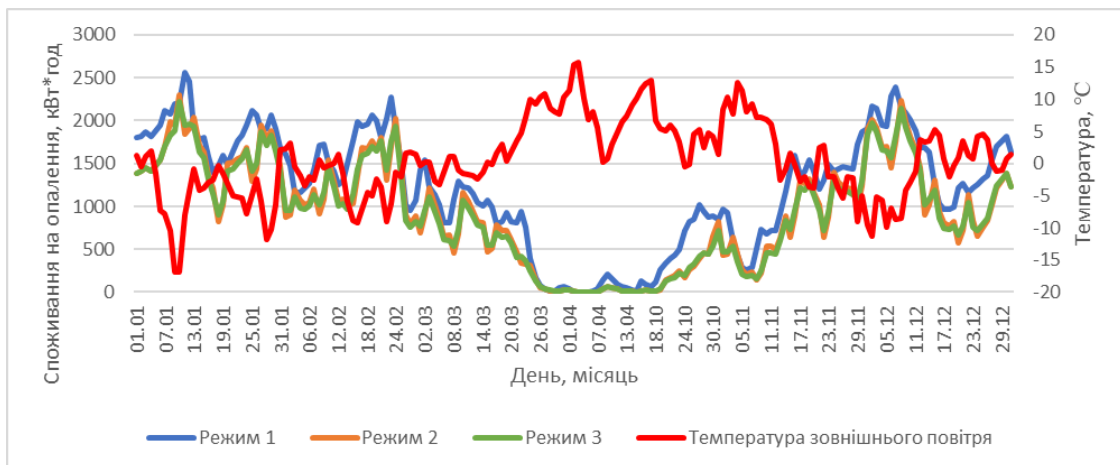


Рис. 3. Поденне споживання енергії на опалення, випадок неутепленої будівлі

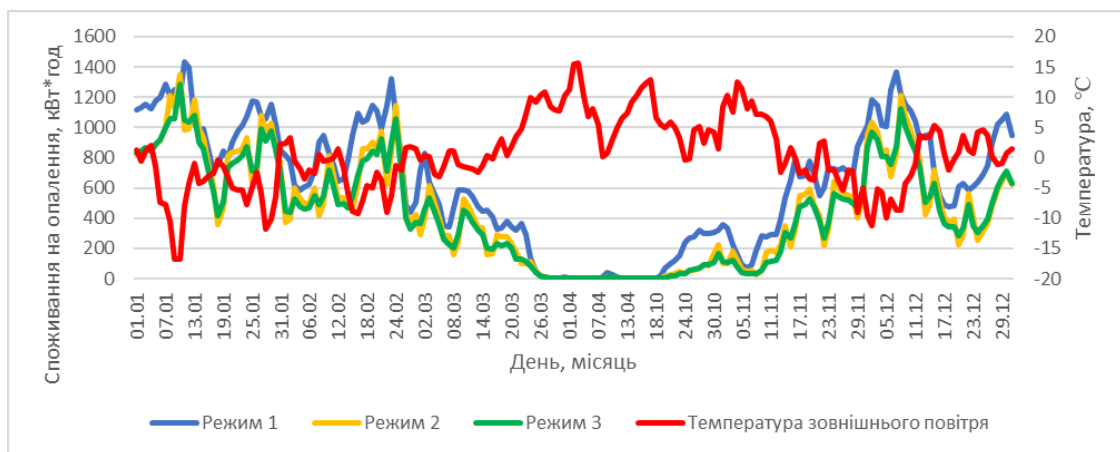


Рис. 4. Поденне споживання енергії на опалення, мінімальне утеплення відповідно до ДБН В.2.6-31:2016

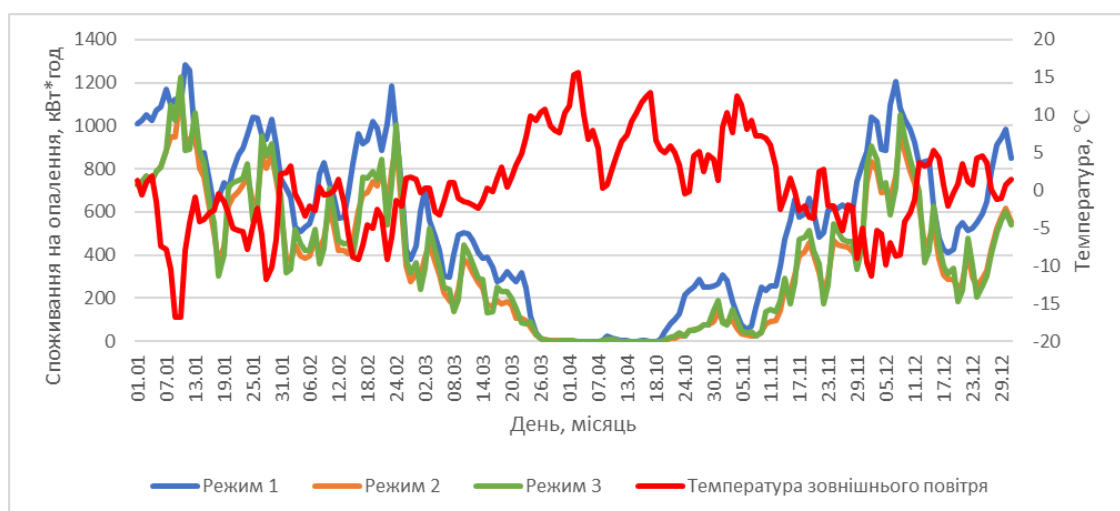


Рис. 5. Поденне споживання енергії на опалення, мінімальне утеплення відповідно до ДБН В.2.6-31:2021

Аналіз поденних результатів аналізу показав наявність додаткових піків споживання в режимах 2 та 3, що подекуди перевищують аналогічні значення для режиму без регулювання.

Аналіз даних показав, що піки виникають в понеділки та післясвяткові дні, що підтверджується й тим, що вони дублюються для обох режимів. Такі піки свідчать про значне навантаження на систему опалення в перехідні періоди (тобто при переході від пониженої, 16°C температури до робочої в 20°C), тобто введення регулювання потребує збільшення потужності опалення.

Для дослідження впливу введених режимів на навантаження на систему опалення, а також на комфортність перебування в приміщеннях було зібрано показники максимальних значень теплової потужності систем опалення для випадків описаних вище. Результати представлені на рис. 6.

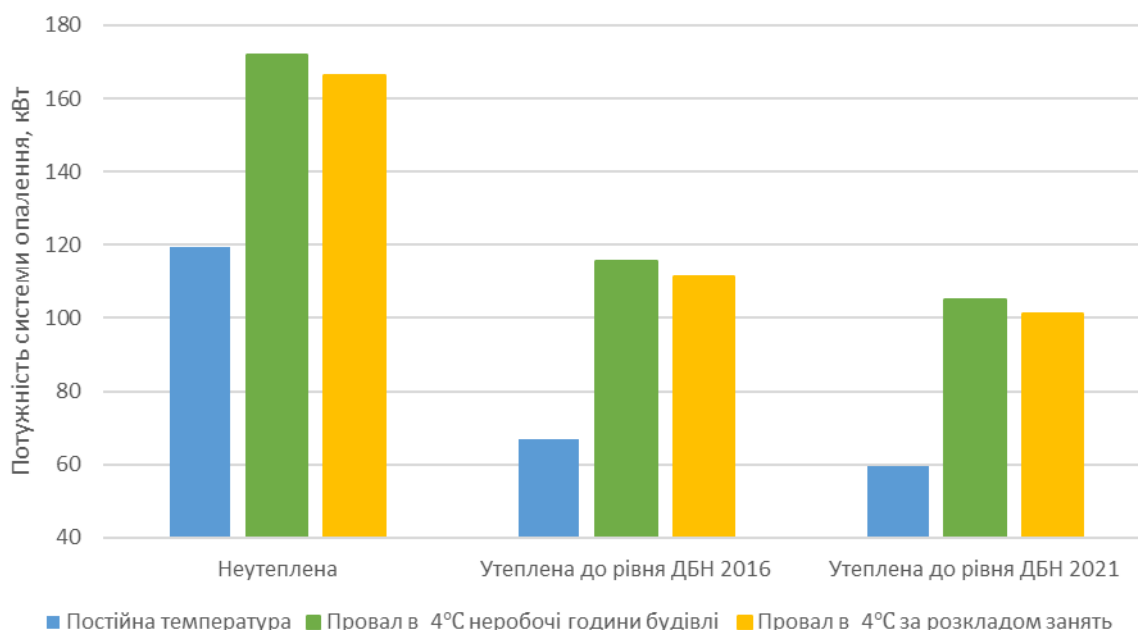


Рис. 6. Потужність системи опалення

Згідно з результатами аналізу, як і очікувалось, утеплення будівлі значно зменшує необхідну потужність системи опалення (в середньому на 36,6% при утепленні до рівня ДБН 2016 та на 42,7% при утепленні до вимог ДБН 2021), а введення переривчастих режимів збільшує необхідну потужність (в середньому на 37,7% при введенні режиму 2 та на 36,5% при введенні режиму 3).

Оскільки впровадження режиму 2 та 3 значно підвищує навантаження на систему опалення для всіх рівнів ізоляваності будівлі, для забезпечення комфортних умов перебування в будівлі може потребуватись заміна системи опалення. Для нівеляції даного ефекту можна розглянути поступове підвищення температури від 16°C до 20°C протягом кількох годин в випадках повернення до навчального процесу після вихідних, свят та канікул.

Також, графік показує, що пікове навантаження для переривчастих режимів опалення в випадку ізольованої будівлі не перевищує дане значення для постійного опалення в випадку неутепленої школи. Таким чином, провадження переривчастих режимів опалення для будівель що проходять термомодернізацію можливе без заміни опалювальних приладів на більш потужні. Це робить комбінацію заходів з утеплення та терморегулювання більш привабливою не лише з енергетичної точки зору, а й з точки зору капітальних затрат.

Режим 2 потребує більшу потужність опалення для будь-якого рівня утеплення будівлі в порівнянні з режимом 3, а саме: на 3,2% для неутепленої будівлі та 3,7% для утеплення до 2016 або 2021 ДБН.

Такі результати можуть бути пояснені тим, що не вся будівля переходить від 16°C до 20°C одночасно. Таке явище може бути використане для оптимізації потужності системи централізованого опалення, в випадку використання специфічного розкладу занять (як приклад, можна розглянути проектування шкільного закладу з централізованою системою опалення, де молодші класи починають навчання пізніше).

Останнім аспектом, який було розглянуто в дослідженні став вплив пониження температури в сусідніх приміщеннях на комфортність перебування дітей в класі, оскільки, пониження температури повітря в сусідніх класах може впливати на радіаційну температуру, та як наслідок на комфортність перебування в приміщенні.

З цією метою, було обрано кутовий клас, що контактує з приміщенням, яке в певний день тижня перебуває в постійному режимі 16°C. Кутове приміщення було обрано для дослідження, як клас, в якому саме радіаційна температура може значно вплинути на комфортність учнів, через великий контакт з зовнішніми стінами. Дослідження проводиться на базі неутепленої будівлі, оскільки такі будівлі є найбільш чутливими до коливань температури, а також зміна показників комфорту в них виділяються найяскравіше. Результати моделювання температур в погодинному зрізі наведені на рис. 7.

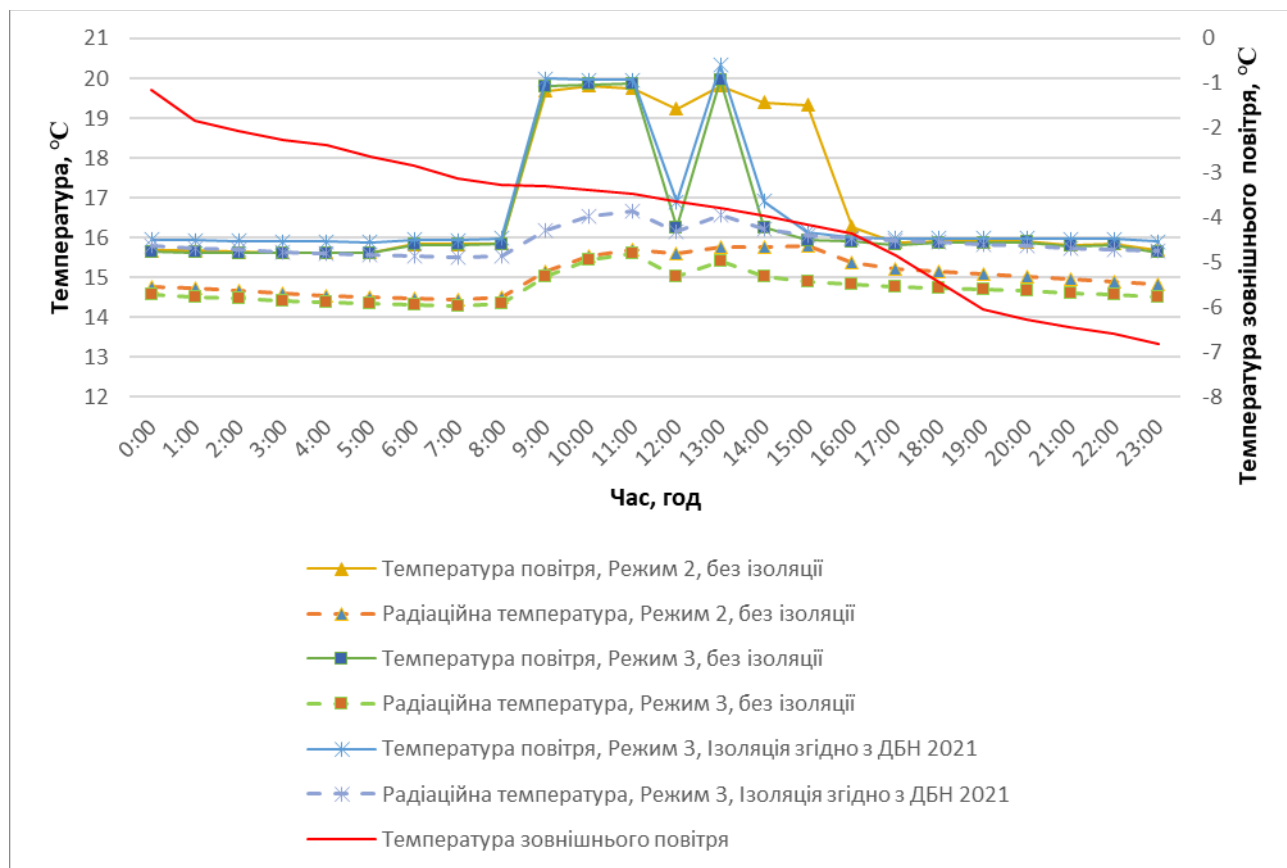


Рис. 7. Вплив сусіднього неексплуатуємого приміщення на комфортність перебування в класі

Аналіз показує незначне пониження радіаційної температури при використанні режиму 3 в порівнянні з режимом 2, яке, втім, не вплине на суб'єктивне сприйняття комфортності.

Додаткова ізоляція підіймає радіаційну температуру приблизно на 1°C, що ще раз підкреслює важливість утеплення будівель, а також дозволяє нівелювати незначне пониження при впровадженні режиму 3.

Висновки. Дослідження, проведене з метою оцінки впливу різних режимів опалення на енергоспоживання та ефективність системи опалення в шкільних будівлях, виявило ряд ключових знахідок.

Аналіз моделювання показав, що імплементація переривчастих режимів опалення забезпечує значне підвищення енергоефективності як для будівель без ізоляції, так і для шкільних закладів, що пройшли термомодернізацію. Впровадження режиму в дозволяє заощадити від 23% до 27% енергії на опалення.

Графік опалення оснований на розкладі занять (режим 3) показав ряд переваг перед простішим графіком з провалами в неробочі години (режим 2), а саме, вищу на понад 3% енергоефективність і зниження пікового навантаження на систему опалення на 3,3–3,7%.

Додатково до переваг названих вище, режим 3 майже не впливає на комфортність перебування в будівлі, в порівнянні з режимом 2.

З іншого боку, режим 3, є досить складним у впровадженні та вимагає сучасного обладнання та щорічного оновлення графіку.

Впровадження режиму 2 та 3 призводить до значного зростання навантаження на опалення для будівель всіх типів ізольованості, що досліджувались, проте, при впровадженні енергоефективних режимів опалення в ізольованих до мінімальних вимог ДБН 2016 та 2021 не перевищують потужність системи опалення постійного режиму не ізольованої будівлі. Дана знахідка дозволяє рекомендувати впроваджувати режим 2 або 3 в будівлях що проходять термомодернізацію, оскільки в такому випадку заміна системи опалення не потребується.

Враховуючи вище сказане, регулювання опалення за розкладом занять в школі є перспективним заходом з енергозбереження для будівель з будь-яким рівнем ізоляції, але при відсутності термосанації, як правило, потребує модернізації системи опалення.

Виявлене зниження навантаження на систему опалення при впровадженні режиму 3 є перспективним напрямком подальшого аналізу, оскільки, потенційно, правильно розроблений графік занять та використання навчальних приміщень (наразі не типовий для Українських шкіл) дозволить зменшити витрати на опалення шкільного закладу без модернізації системи опалення, наприклад, в випадках використання централізованого опалення.

Подібний аналіз буде предметом подальших досліджень.

References

1. Kuzmin, O. V., Kuzmina, O. V., Lysenko, O. V., Stepanenko, O. V. (2021). Analiz vplyvu enerhoefektyvnykh zakhodiv na enerhospozhyvannia budivel osvitnikh ustanov [Analysis of the Impact of Energy-Efficient Measures on the Energy Consumption of Educational Building]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia = Energy: Economics, Technologies, Ecology*, No. 2, P. 5–15 [in Ukrainian].
2. Deshko, O. V., Bylous, I. Y., Buyak, N. A., Petruchenko, O. V. (2021). Enerhoefektyvnist korotkochasnykh rezhymiv opalennia budivel z riznymy teplofizychnymy kharakterystykamy ohorodzhualnykh konstrukttsii [Energy Efficiency of Short-Term Heating Modes in Buildings with Different Thermal Characteristics of Enclosure Structures]. *Visnyk NTUU "KPI". Seriya: Mashynobuduvannia = Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Series: Mechanical Engineering*, No. 2, P. 32–41 [in Ukrainian].

Література

1. Кузьмін О. В., Кузьміна О. В., Лисенко О. В., Степаненко О. В. Аналіз впливу енергоефективних заходів на енергоспоживання будівель освітніх установ. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2021. № 2. С. 5–15.
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. Deshko, V. I., Bylous, I. Y., Buyak, N. A., Petruchenko, O. V. (2020). Analiz vplyvu enerhoefektyvnykh rezhymiv opalennia na enerhospozhyvannia budivel na osnovi matematychnoho modeliuvannia [Analysis of the Impact of Energy-Efficient Heating Modes on the Energy Consumption of Buildings Based on Mathematical Modeling]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia = Energy: Economics, Technologies, Ecology: a scientific journal*, No. 4 (62), P. 32–41 [in Ukrainian].
4. Kepko, O. I., Kuzmin, O. V., Kuzmina, O. V., Lysenko, O. V. (2021). Enerhozberihaiuchi rezhymy roboty system opalennia ta ventyliatsii teplyts [Energy-Saving Operation Modes of Heating and Ventilation Systems in Greenhouses]. *Naukovyi visnyk NTUU = Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine*, No. 2 [in Ukrainian].
5. Deshko, V. I., Bylous, I. Yu., Buyak, N. A., Sapunov, A. O. (2023). Pidvyshchennia rivnia efektyvnosti enerhospozhyvannia v dytiachomu sadku ta yoho vplyv na riven teplovoho komfortu [Improving the Efficiency of Energy Consumption in a Kindergarten and Its Impact on Thermal Comfort]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and Engineering*, No. 2 (13), P. 27–35 [in Ukrainian].
6. Deshko, V. I., Buyak, N. A., Bylous, I. Yu. (2015). Pidbir teplozakhystu ta dzherela tepla z urakhuvanniam komfortnykh umov u budivli [Selection of Thermal Insulation and Heat Sources Considering Comfort Conditions in a Building]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Serii: Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Series "Technical Sciences"*, No. 5 (90), P. 71–80 [in Ukrainian].
7. Standard 90.1-2022 – Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. *ASHRAE*. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>.
8. Kuznetsov, I. I. (2023). Komp'uterna systema vyznachennia yakosti povitria v prymishchenniakh: diplomna robota bakalavra, spetsialnist 123 Komp'uterna inzheneriia [Computer System for Indoor Air Quality Assessment: Bachelor's thesis, specialty 123 Computer Engineering]. Supervised by D. V. Stacenko. Kyiv: Kyiv National University of Technologies and Design, 2023 [in Ukrainian].
9. DesignBuilder. URL: <https://designbuilder.co.uk/>.
10. EnergyPlus. URL: <https://energyplus.net/>
11. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine (2017). DBN V.2.6-31:2016. Konstruktsii budynkiv ta sporud. Teplova izoliatsiia budivel [Building and Structure Designs. Thermal Insulation of Buildings]. 12 p. [in Ukrainian].
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*. 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.
5. 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 інжиніринг*. 2023. № 2 (13). С. 27–35.
6. 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.
7. Standard 90.1-2022 – Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. *ASHRAE*. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>.
8. 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.
9. DesignBuilder. URL: <https://designbuilder.co.uk/>.
10. EnergyPlus. URL: <https://energyplus.net/>
11. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 12 с.

12. Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine (2022). DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia budivel [Thermal Insulation of Buildings]. 7 p. [in Ukrainian].
13. State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection (2018). Informatsiia pro zdiisnennia derzhavnoho nahliadu v zakladakh osvity shchodo dotrymanna temperaturnoho rezhymu pid chas opaliuvalnoho sezonu [Information on State Supervision in Educational Institutions Regarding Temperature Regime Compliance During the Heating Season. 18.12.2018. URL: <https://dpss.gov.ua/news/pro-zdijsnennya-derzhavnogo-naglyadu-v-zakladakh-osviti-shchodo-dotrimannya-temperaturnoho-rezhimu-v-opalyuvalnij-sezon-stanom-na-10122018> [in Ukrainian].
12. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 7 с.
13. Інформація про здійснення державного нагляду в закладах освіти щодо дотримання температурного режиму під час опалювального сезону. Державна служба України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів. 18.12.2018. URL: <https://dpss.gov.ua/news/pro-zdijsnennya-derzhavnogo-naglyadu-v-zakladakh-osviti-shchodo-dotrimannya-temperaturnoho-rezhimu-v-opalyuvalnij-sezon-stanom-na-10122018>.

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

HOLUBENKO OLEKSANDR

Postgraduate
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1419-4980>
E-mail: agolubenko72@gmail.com

^{1,2}DESHKO V. I., ¹HOLUBENKO O. 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

**THE IMPACT OF USING A CLASS SCHEDULE FOR PROGRAMMING
THERMOSTATS ON THE ENERGY CONSUMPTION OF A SCHOOL BUILDING**

Introduction. Variations in temperature reduction during periods of building inactivity have proven to be an effective energy-saving measure. However, there is still potential for energy savings in the field of thermal regulation, specifically related to more detailed heating schedules. Investigating the advantages and disadvantages of detailed heating schedules for thermostat programming becomes an important direction in the development of modern heating and conditioning systems.

Purpose. The objective of this study is to explore the advantages and disadvantages of implementing a heating schedule based on the school class schedule for the heating system.

Methodology. The research is conducted based on energy modeling using the DesignBuilder software environment.

Findings. The results of the energy modeling of the building included an examination of the impact of implementing a heating schedule based on the school class schedule for buildings with different levels of thermal insulation. The class schedule-based heating schedule demonstrated several advantages over a simpler schedule with gaps during non-working hours, including over 3% higher energy efficiency and a 3.3–3.7% reduction in peak heating system loads.

Scientific novelty. The study investigates the impact of implementing a class schedule-based heating schedule on the energy efficiency of a school building and the comfort of occupants.

Practical value. Considering climate and building characteristics, as well as mitigating the human factor's influence through the use of programmable thermostats, can contribute to the development of effective heating management strategies, leading to significant energy resource savings.

Keywords: energy conservation; building energy modeling; heating schedules, comfort conditions.