

УДК 620.9

ДЕШКО В. І., БІЛОУС І. Ю., СУХОДУБ І. О., БОЙКО Т. Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ КОРПУСІВ УНІВЕРСИТЕТУ В УМОВАХ КАРАНТИННИХ ОБМЕЖЕНЬ УКРАЇНИ

Мета. Проаналізувати особливості енергоспоживання об'єктів закладів освіти на прикладі будівлі навчального корпусу №17 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» в умовах карантинних обмежень при реалізації енергоощадних схем опалення.

Методика. Енергетичне динамічне моделювання будівлі навчального корпусу університету, створеної в програмному середовищі DesignBuilder, при звичайному та карантинному режимах роботи.

Результати. Рекомендації щодо споживання енергії будівлею на опалення за опалювальний сезон, погодинних значень споживання енергії на опалення, температури повітря та радіаційної в окремих зонах, що в експлуатації, при реалізації енергоощадних режимів роботи опалення будівлі навчального корпусу університету в період дистанційного навчання при впровадженні карантинних обмежень в Україні.

Наукова новизна. Розвинуто комплексний підхід до поглибленого аналізу енергоспоживання в умовах часткового використання приміщень навчальних корпусів в період карантину. Обґрунтовано, що при загальному зменшенні енергоспоживання будівлі в цілому використання окремих приміщень при частковій експлуатації будівлі вимагає додаткових питомих витрат на потреби опалення.

Практична значимість. Проведено імітаційне динамічне моделювання енергоспоживання будівлі на опалення для різних режимів роботи та зайнятості/використання приміщень навчальних корпусів у період карантину в Україні, результати дослідження дозволять отримати комплекс енергетичних характеристик будівлі в цілому та окремих її приміщень/зон для погодинної зміни внутрішніх умов експлуатації та зовнішніх кліматичних умов. Використання запропонованої схеми роботи опалювальної системи будівлі навчального корпусу дозволяє скоротити енергоспоживання за опалювальний період на 8,5% у порівнянні із енергоспоживанням при звичайному режимі роботи, що є економічно доцільним в умовах часткової зайнятості будівлі під час карантинних обмежень (під час локдауну) та непередбачуваної макроекономічної ситуації на ринку енергоносіїв, яка обумовлює тренд до зростання цін на основні енергоносії.

Ключові слова: карантин; температура повітря; середня радіаційна температура; графік роботи; споживання теплової енергії; опалювальна система; енергоспоживання; навчальні заклади; енергозбереження.

Вступ. Енергозбереження та підвищення рівня енергоефективності наразі є пріоритетними напрямками політичної діяльності України, так як є обов'язковими умовами на шляху євроінтеграції національної енергетичної системи. Особливої ж уваги в сфері енергозбереження заслуговують будівлі, адже понад третина світового енергоспоживання припадає саме на них [1]. При цьому при проведенні оцінки та розробки плану заходів з енергозбереження потрібно враховувати ряд параметрів, які характеризують будівлю, в першу чергу – це її призначення, яке визначає набір умов при яких будівля експлуатується (графік роботи, температура внутрішнього повітря, кількість людей тощо). Цікавими з точки зору експлуатації є заклади освіти, оскільки за нормального режиму роботи вони характеризуються великою кількістю перебування людей в робочі години [2, 3], що в свою чергу в значній мірі впливає на інтегральні характеристики теплонадходження в приміщення та споживання

енергоресурсів в залежності від рівня свідомості потенційних споживачів (чи вимикають світло, закривають до кінця кран, відкривають/закривають вікна тощо) [4, 5].

Однак пандемія COVID-19 на початку 2020 року значно вплинула на енергопотребу громадських, зокрема вищих навчальних, закладів. З початку 2020 року ця хвороба почала стрімко поширюватися по світу. У березні 2020 року Всесвітня Організація Охорони Здоров'я (ВООЗ) оголосила спалах COVID-19 глобальною пандемією. При цьому було вказано, що соціальне дистанціювання і особиста гігієна є основними заходами, які можуть допомогти запобігти поширенню COVID-19. Тому, щоб уникнути скупчення людей, більшість країн ввели часткове або повне закриття навчальних закладів, комерційних і промислових компаній [6]. Це призвело до радикальних змін в енергоспоживанні [7]. В Україні в сфері освіти частина закладів продовжила свою роботу в змішаному режимі навчання, частина ж повністю перейшла на дистанційний режим (залежно від епідеміологічної ситуації області, де знаходиться заклад освіти) з метою запобігання поширенню коронавірусної хвороби (при цьому за потреби частина працівників освіти відвідували свої робочі місця). За таких умов, щоб уникнути надмірного використання енергії та забезпечити нормальне функціонування будівель, постає надзвичайно важливим питання мати графіки раціонального використання енергії на потреби опалення з врахуванням експлуатації приміщень. Тому очевидною є актуальність провести поглиблений аналіз впровадження переривчастих та енергоощадних режимів роботи системи опалення зон будівлі навчальних закладів для умов карантину з метою регулювання споживання енергетичних ресурсів відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [8].

Постановка завдання. Завдання дослідження полягає у:

1. створити динамічну модель будівлі на базі навчального корпусу №17 КПІ ім. Ігоря Сікорського в програмному середовищі DesignBuilder з врахуванням внутрішнього зонування приміщень;
2. провести імітаційне моделювання енергоспоживання будівлі для звичайного режиму роботи при впровадженні переривчастих режимів опалення будівлі в цілому;
3. провести імітаційне моделювання енергоспоживання будівлі в умовах карантину з врахуванням графіків використання приміщень та допустимих рівнів пониження температури в них;
4. аналіз результатів моделювання та надання оцінок щодо можливого рівня енергоспоживання будівлі в період карантинних обмежень.

Опис моделі. Для створення моделі будівлі в програмному середовищі DesignBuilder використано навчальний корпус №17 КПІ ім. Ігоря Сікорського, збудований в 1969 році. Будівля розташована в м. Києві. Геометрично будівля є правильної протяжної прямокутної форми з основна частина фасадів орієнтована на північну (пн) та південну (Пд) сторони світу. Будівля має 5 поверхів, а також опалювальний підвал та неопалювальний технічний поверх. Опалювальний об'єм будівлі – $42371,34 \text{ м}^3$, площа – $12184,75 \text{ м}^2$. Всі вікна будівлі замінені на металопластикові однокамерні склопакети з повітряним заповненням камер, за винятком технічного поверху, де встановлені склоблоки. При цьому частка площі світлопрозорих конструкцій складає 36,73%, 12,02%, 35,44% та 12,02% на північній, східній, південній та західній орієнтації, відповідно. Несучий шар зовнішніх стіни будівлі виконано з керамзитобетону, термічний опір огороження $1 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Покриття будівлі – суміщене, рулонне, термічний опір огороження $1,25 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$; частина покриття – це покриття 5-го поверху, частина – покриття технічного поверху. Фундамент – бетонні блоки. Фундамент підвалу – бутобетонні блоки. Теплозабезпечення будівлі здійснюється через мережі централізованої системи тепlopостачання. Схема тепlopостачання будівлі здійснюється через індивідуальний тепловий пункт, модель якого дозволяє впровадження переривчастих режимів опалення. Крім того передбачено, що опалювальні прилади, встановлені в приміщеннях –

чавунні радіатори М140 з термостатичними головками, що дозволять проводити регулювання по зонах будівлі. Система вентиляції комбінована: механічна та природня. Значна частина складової забезпечення належного повітрообміну в будівлі забезпечується природною вентиляцією (інфільтрація). Кількість людей, що знаходяться у будівлі в нормальному режимі роботи становить 2763, з яких працівники – 234 особи, студенти – 2529. Кліматичні погодинні дані використанні з погодинного файлу IWEC типового року для умов Києва.

3D-модель будівлі навчального корпусу №17, створена в програмному середовищі DesignBuilder, наведена на рис.1.

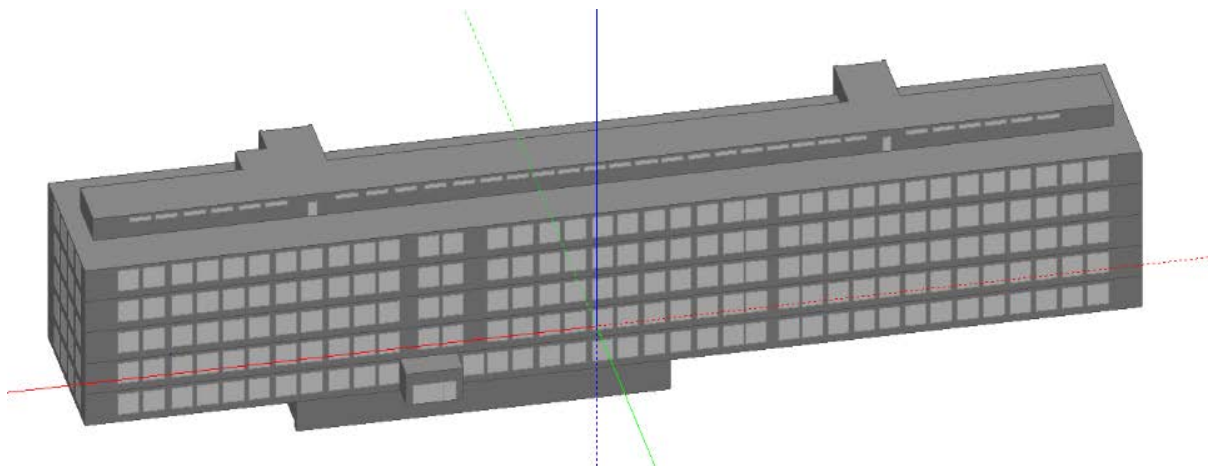


Рис. 1. 3D-модель навчального корпусу №17 КПІ ім. Ігоря Сікорського

Результати моделювання. Розрахунок базового рівня енергоспоживання проведено відповідно до параметрів комфорту за діючими стандартами [8 – 12] та типових кліматичних умов. Енергетична модель навчального корпусу №17 передбачає зонне регулювання рівня опалення та постійний рівень нормативний рівень повітрообміну. Для базового рівня річна енергопотреба на потреби опалення при звичайному режимі роботи навчального закладу склала 679653,95 кВт·год/рік для температурних графіків наведених в табл. 1. Подальші модельні дослідження проводились для температурних графіків характерних для умов карантину, тобто графіки роботи, які відповідають режиму роботи в умовах карантину окремих зон будівлі, які використовуються (табл. 1) та відповідні графіки температурні графіки для приміщень, які не використовуються.

В зонах, які експлуатуються, запропонований наступний температурний графік: 20°C в робочі години (від 07:00 до 18:00), а в неробочі години та вихідні і святкові дні температура приміщень знижується до 17°C. Також це стосується площі загального користування – санвузли, коридори з 1 по 4 поверх. Температура на останньому 5 поверсі та в аудиторіях, що не використовуються, підтримується опалювальною системою на рівні 13°C весь час. Детальний температурний розподіл по окремих зонах при звичному режимі роботи та запропонований температурний розподіл в умовах карантину наведено в таблиці 1.

При підтриманні нормативної температури в робочі години лише в окремих зонах, що використовуються, енергоспоживання на потреби опалення за опалювальний сезон за результатами модельного розрахунку склало 621854,47 кВт·год, що на 8,5% менше, ніж при належному опаленні усієї будівлі при звичайному режимі роботи. Відповідно зменшилося і питоме енергоспоживання. Результати аналізу наведено в таблиці 2.

Таблиця 1

Температурний розподіл по зонах в умовах карантину

Зона	Звичайний режим	Режим карантину
Температура, °С		
Аудиторії	робочий час: 20 неробочий час: 17	1 і 2 поверх окремі зони, що використовуються: робочий час: 20 неробочий час: 17 Решта зон: 13
Коридори	робочий час: 17 неробочий час: 16	(1–4 поверхи) робочий час: 17 неробочий час: 16
Тамбур	Не опалюється	
Санвузли	робочий час: 18 неробочий час: 17	(1–4 поверхи) робочий час: 18 неробочий час: 17
Підвал: коридор	робочий час: 17 неробочий час: 16	робочий час: 17 неробочий час: 16
Підвал: приміщення	робочий час: 20 неробочий час: 17	13
5 поверх	залежно від призначення (див. попередні пункти)	13
Горище	Не опалюється	

Таким чином бачимо, що застосування позонного керування рівнем температури в умовах карантинного режиму роботи дозволяє скоротити енергоспоживання на 8,5%, що є економічно доцільним і обґрунтованим при частковому використанні площ будівлі. Однак, питоме енергоспоживання на одиницю опалювальної до належного рівня площі (об'єму) збільшилося на 39%. Це свідчить про те, що в приміщеннях, в яких підтримується належна температура в робочі години інтенсифікується тепловідтік через внутрішні стіни в сусідні приміщення, де рівень опалення знижений. На рис. 2 наведено погодинні графіки зміни температури повітря в розглянутих репрезентативних приміщеннях та середньорадіаційна температура в них для звичайного режиму роботи (рис. 2, в-г), карантинну (рис. 2, а-б), а також зміни зовнішньої температури та сонячних теплонадходжень на вертикальні поверхні Пн та Пд орієнтації (рис. 2, д).

Таблиця 2

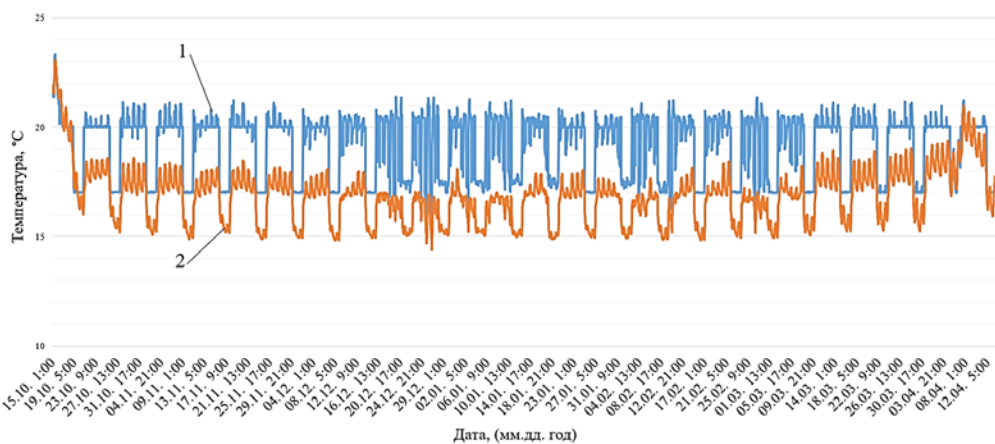
Порівняння споживання теплової енергії для двох режимів роботи

№	Критерій порівняння	Режим карантину	Звичайний режим	Різниця, %
1	Енергоспоживання за опалювальний сезон, кВт·год	621854,47	679653,95	8,5
2	Опалювальна площа будівлі, м ²	12184,75	-	-
3	Опалювальний об'єм будівлі, м ³	42371,34	-	-
4	Загальна площа будівлі, м ²	13095,73	-	-
5	Загальний об'єм будівлі, м ³	44593,56	-	-
6	Площа, приміщень, що використовуються, м ²	3018,81	12184,75	75,22
7	Питоме енергоспоживання, до опалювальної площі, кВт·год /м ²	51,04	55,78	8,50

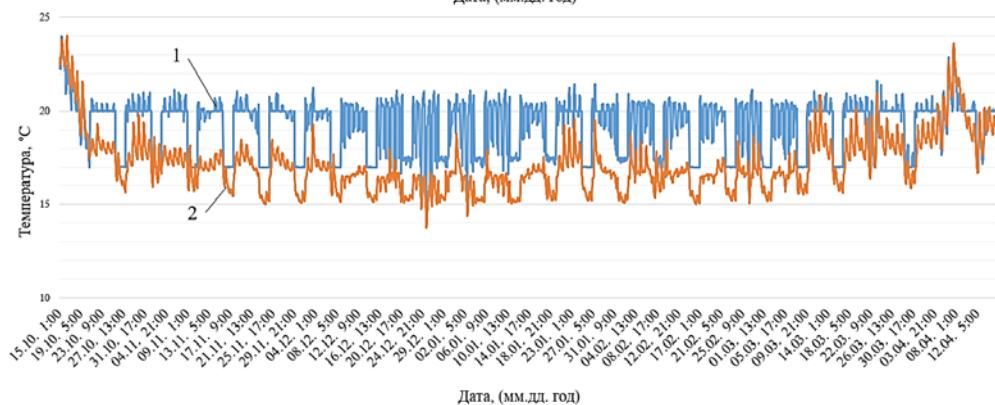
Закінчення табл. 2

№	Критерій порівняння	Режим карантину	Звичайний режим	Різниця, %
8	Об'єм опалювальних приміщень, що використовуються м ³	10509,10	42371,34	75,20
9	Питоме енергоспоживання, до опалювального об'єму, кВт·год /м ³	14,68	16,04	8,50
10	Енергоспоживання приміщень, що використовуються за опалювальний сезон, кВт·год	234070,69	679653,95	65,56
11	Питоме енергоспоживання, до площі приміщень, що використовуються, кВт·год /м ²	77,54	55,78	-39,01
12	Питоме енергоспоживання, до об'єму приміщень, що використовуються, кВт·год /м ³	22,27	16,04	-38,86

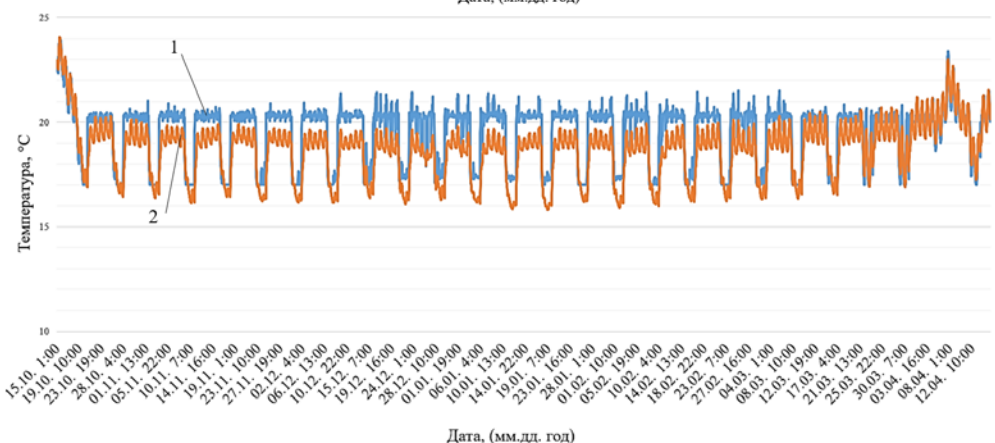
а)



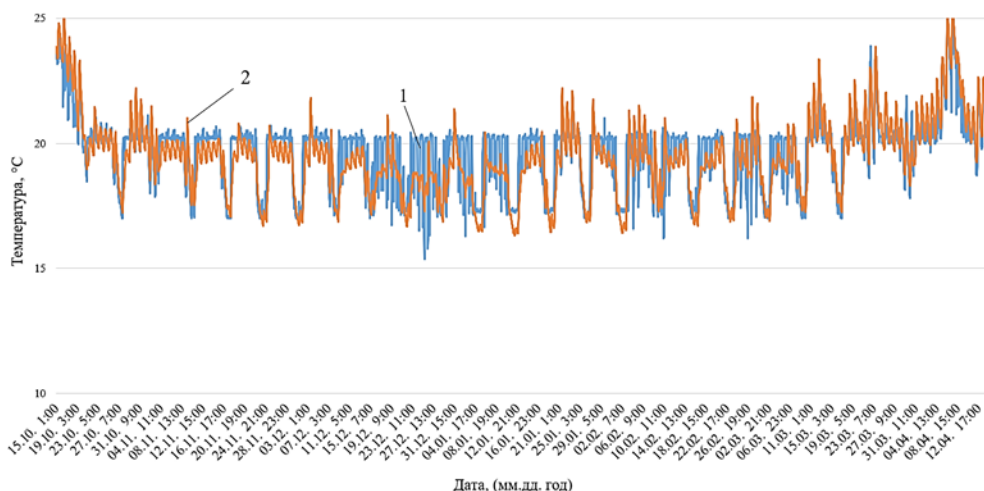
б)



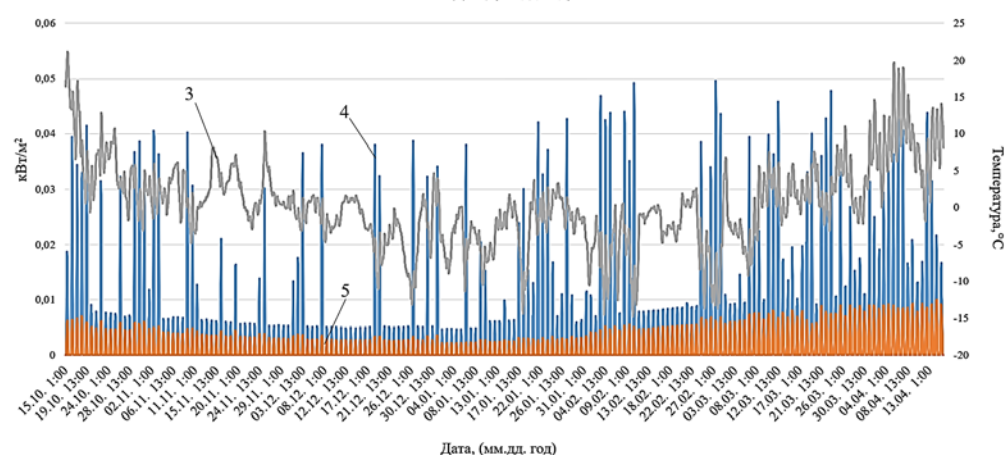
в)



з)



д)



1 – температура повітря в приміщенні, 2 – середньорадіаційна температура, 3 – зовнішня температура, 4 – сонячні теплонадходження, південна орієнтація, 5 – сонячні теплонадходження, північна орієнтація.
Джерело: [13].

Рис. 2. Зміна температури температури повітря та середньорадіаційної протягом опалювального періоду непрезентативних приміщень Пн та Пд орієнтації та зовнішніх кліматичних умов: а) карантин, приміщення Пн орієнтації; б) карантин, південна орієнтація; в) звичайний режим, північна орієнтація; г) звичайний режим, південна орієнтація; д) зовнішня температура та сонячні теплонадходження на вертикальні поверхні за погодним файлом IWEC

З графіків слідує, що параметри комфорту в приміщеннях, які використовується при карантинних обмеженнях погіршується (понижується середньорадіаційна температура), тому що приміщення контактують з холодними зонами, де підтримується стала температура упродовж усього часу ($t_{\text{вн}} = 13^{\circ}\text{C}$), в результаті внутрішні перетоки тепла призводять до зниження середньорадіаційної температури ($t_{\text{сер.рад.}}$). Для приміщень північної орієнтації середньорадіаційна температура найменша (рис. 2,а). Середня різниця між $t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{сер.рад}}$ за протягом опалювального року становить біля $2,2^{\circ}\text{C}$. Для приміщення південної орієнтації (рис. 2,б) середньорадіаційна температура підвищується, спостерігається зростання амплітуди коливання внутрішньої температури повітря приміщення за період день-ніч, що пояснюється додатковими теплонадходженнями від сонця на південній стороні на відміну від північної. При цьому різниця між $t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{сер.рад}}$ усереднена за опалювальний період становить біля $2,0^{\circ}\text{C}$. Для звичайного режиму роботи у приміщеннях південної орієнтації спостерігається досить близькі значення внутрішньої температури повітря і середньорадіаційної (середня різниця між $t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{сер.рад}}$ становить $0,1^{\circ}\text{C}$) у порівнянні з північною орієнтацією, для якої характерне зміщення

кривої середньорадіаційної температури відносно внутрішньої температури повітря вниз (середня різниця між $t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{сер.рад}}$ становить $0,9^{\circ}\text{C}$). Таким чином, контактування із холодними зонами призводить до збільшення трансмісійних втрат теплової енергії у сусідні приміщення, зниження середньорадіаційної температури, що призводить до погіршення умов комфорту при однаковій (порівняно з звичайним режимом роботи) температурою повітря в приміщеннях. Тому, при обранні окремих робочих приміщень під час часткового використання будівлі в карантин, доцільно надавати перевагу приміщенням південної орієнтації, що додатково зменшить рівень опалення. Для забезпечення дотримання комфорту в умовах карантинних обмежень при частковій експлуатації приміщень, потребує додатковоо дослідження вплив на споживання енергії збільшення температури повітря в приміщеннях, які експлуатуються, до рівня, який відповідатиме параметру комфорту PMV в діапазоні $-0,5 \dots 0,5$, тобто мінімуму споживання ексергії людським тілом.

На рис. 3 наведено питоме споживання теплової енергії на потреби опалення окремого приміщення, яке експлуатується для умов карантину та звичайного режиму при зміні його розташування з північної сторони на південну. Для порівняння споживання теплової енергії при різній орієнтації, азимут моделі будівлі було повернуто в програмі на 180° і розглянуто одне приміщення для двох випадків. Приміщення, яке розглядається, має площу $60,72 \text{ м}^2$ та два вікна, коефіцієнт засклення $0,256$.

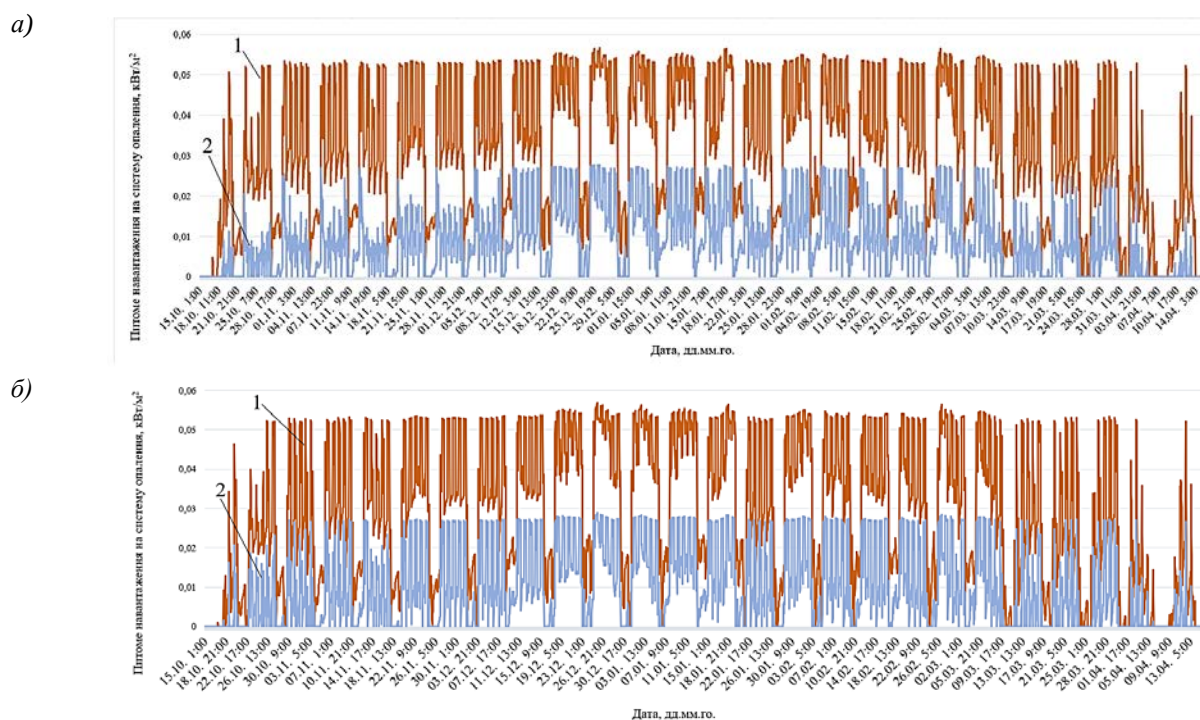
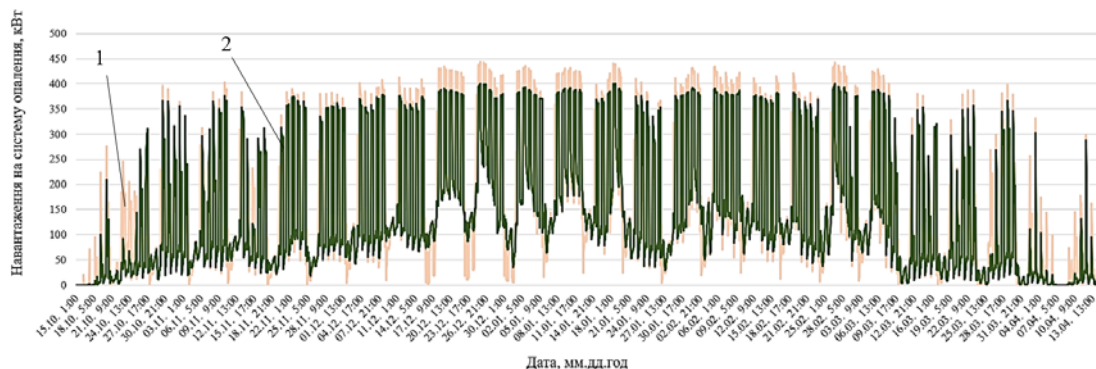


Рис. 3. Погодинне споживання теплової енергії для окремого приміщення, що використовується на Пн (а) та Пд (б) орієнтаціях:
1 – режим карантину, 2 – звичайний режим

З рис. 3 слідує, що потреба в теплозабезпеченні для Пн та Пд орієнтацій в режимі карантину зростає, що підтверджує той факт, що значна кількість теплової енергії втрачається в «холодні зони» і, як наслідок, на потреби опалення приміщень, де знаходяться люди, зростає. Для Пд орієнтації характерним є більш часті відключення/пониження навантаження на систему опалення порівняно з Пн орієнтацією, що зумовлюється інтенсивністю сонячних надходжень.

На рис. 4 наведено погодинне навантаження на систему опалення будівлі в цілому для звичайних умов експлуатації та карантинних обмежень. З рис. слідує, що при впровадженні режимів роботи (опалення приміщень) за умов карантинних обмежень навантаження на систему опалення зменшується.



1 – звичайний режим 2 – режим локдауну

Рис. 4. Порівняння погодинного споживання теплової енергії будівлі від опалювальних приладів в звичайний режим та локдаун

Висновки. В роботі створено динамічну енергетичну модель будівлі на базі навчального корпусу №17 КПІ ім. Ігоря Сікорського. Проведено імітаційне моделювання енергоспоживання навчального корпусу на потреби опалення для звичайних умов експлуатації (у всі приміщення підтримується нормативна температура в період перебування людей) та карантинних умов (лише певна частина приміщень експлуатується, де підтримують нормативне значення температури в період перебування людей).

За результатами моделювання встановлено, що за умови часткового використання будівлі корпусу під час карантину при наявності зонного регулювання загальне енергоспоживання будівлі знижується на 8,5%, однак питоме споживання теплової енергії, для приміщень, що опалюються до нормативного рівня (в тому числі приміщення загального користування) збільшується на 39%. Це обумовлено сусідством приміщень, що використовуються із холодними зонами (призводить до збільшення перетоку через внутрішні огороження), що призводить до зниження середньої радіаційної температури, а отже і параметрів комфорту, особливо для приміщень північної орієнтації.

Визначені погодинні зміни внутрішньої температури повітря та середньорадіаційної температури: найбільша різниця між $t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{сер.рад}}$ за опалювальний період становить $2,2^{\circ}\text{C}$, що відповідає приміщенню північної орієнтації, що використовується в карантин, – комфорт в таких приміщеннях погіршується. Отже, при виборі виокремленні окремих робочих зон потрібно надавати перевагу приміщенням південної орієнтації.

Таким чином показано, що впровадження зонного керування навантаженням на систему опалення, особливо в умовах карантину, є доцільним та прийнятним до використання.

Для забезпечення дотримання комфорту в умовах карантинних обмежень при частковій експлуатації приміщень, доречним є дослідити вплив на споживання енергії збільшення температури повітря в приміщеннях, які експлуатуються, до рівня, який відповідатиме параметру комфорту PMV в діапазоні $-0,5 \dots 0,5$.

Пропозиції подальших досліджень стосуються фінансового аналізу та порівняння економічної доцільності використання того чи іншого режиму експлуатації у умовах карантину з урахуванням витрат на модернізацію та змін у системі енергопостачання (зонне регулювання опалення, вентиляції та ін.). Також розглядається можливість пониження температури в місцях загального користування з подальшим аналізом отриманих результатів.

References

1. International Energy Agency. EBC Annex 53: Total energy use in buildings: analysis and evaluation methods. 2013. 132 p. URL: https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_53_Main_Report.pdf.
2. Saraiva, T. S. et al. (2018). Environmental comfort indicators for school buildings in sustainability assessment tools. *Sustainability*, Vol. 10, No. 1849, 11 p.
3. Katić, D., Krstić, H., Marenjak, S. (2021). Energy performance of school buildings by construction periods in Federation of Bosnia and Herzegovina. *Buildings*, Vol. 11, No. 42, 21 p.
4. Zhiyuan, H., Tianzhen, H., Siaw, K. C. (2021). A framework for estimating the energy-saving potential of occupant behaviour improvement. *Applied Energy*, Vol. 287, 13 p.
5. Laarouss, Y. et al. (2019). Occupant behaviour: a major issue for building energy performance. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 609, 7 p.
6. Ivanko, D., Nord, N., Ding, Y. (2021). Heat use profiles in Norwegian educational institutions in conditions of COVID-lockdown. *REHVA Journal*, P. 55–58.
7. Bahmanyar, A., Estebarsari, A., Ernst, D. (2020). The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe. *Energy Research & Social Science*, Vol. 68, 4 p.
8. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII: станом на 01.12.2020 [On energy efficiency of buildings: Law of Ukraine of 22.06.2017 № 2118-VIII: as of 01.12.2020]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> [in Ukrainian].
9. DSTU-N B V.1.1–27:2010. Будівельна кліматологія; чинний від 2011-11-01. Вид. офіц. Мінрегіонбуд України [Construction climatology; valid from 2011-11-01. View. ofits. Ministry of Regional Development of Ukraine]. Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2011. 123 p. [in Ukrainian].
10. ДБН В.2.6–31:2016. Теплова ізоляція будівель; чинний від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006. Вид. офіц. Мінбуд України [Thermal insulation of buildings; effective from 2016–10–08, to replace ДБН В.2.6–31: 2006. View. ofits. Ministry of Construction of Ukraine]. Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2016. 33 p. [in Ukrainian].
11. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування; чинний від 2014–01–01. Вид. офіц.

Література

1. International Energy Agency. EBC Annex 53: Total energy use in buildings: analysis and evaluation methods. 2013. 132 p. URL: https://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annex_53_Main_Report.pdf.
2. Saraiva, T. S. et al. Environmental comfort indicators for school buildings in sustainability assessment tools. *Sustainability*. 2018. Vol. 10, No. 1849. 11 p.
3. Katić D., Krstić H., Marenjak S. Energy performance of school buildings by construction periods in Federation of Bosnia and Herzegovina. *Buildings*. 2021. Vol. 11, No. 42. 21 p.
4. Zhiyuan H., Tianzhen H., Siaw K. C. A framework for estimating the energy-saving potential of occupant behaviour improvement. *Applied Energy*. 2021. Vol. 287. 13 p.
5. Laarouss Y. et al. Occupant behaviour: a major issue for building energy performance. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 609. 7 p.
6. Ivanko D., Nord N., Ding Y. Heat use profiles in Norwegian educational institutions in conditions of COVID-lockdown. *REHVA Journal*. 2021. P. 55–58.
7. Bahmanyar A., Estebarsari A., Ernst D. The impact of different COVID-19 containment measures on electricity consumption in Europe. *Energy Research & Social Science*. 2020. Vol. 68. 4 p.
8. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII: станом на 01.12.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010. Будівельна кліматологія; чинний від 2011-11-01. Вид. офіц. Мінрегіонбуд України. К.: Укрархбудінформ, 2011. 123 с.
10. ДБН В.2.6–31:2016. Теплова ізоляція будівель; чинний від 2016–10–08, на заміну ДБН В.2.6–31:2006. Вид. офіц. Мінбуд України. К.: Укрархбудінформ, 2016. 33 с.
11. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування; чинний від

Minbud Ukrainy [Heating, ventilation and air conditioning; valid from 2014-01-01. View. ofits. Ministry of Construction of Ukraine]. Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2013. 149 p. [in Ukrainian].

12. DSTU B A.2.2-12:2015. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osvittleni ta hariachomu vodopostachanni; chynnyi vid 2016-01-01. Vyd. ofits. Minrehionbud Ukrainy [Energy efficiency of buildings. Method of calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply; valid from 2016-01-01. View. ofits. Ministry of Regional Development of Ukraine]. Kyiv: Ukrarkhbudinform, 2015. 145 p. [in Ukrainian].

13. EnergyPlus. URL: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

2014–01–01. Вид. офіц. Мінбуд України. К.: Укрархбудінформ, 2013. 149 с.

12. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні; чинний від 2016-01-01. Вид. офіц. Мінрегіонбуд України. К.: Укрархбудінформ, 2015. 145 с.

13. EnergyPlus. URL: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

DESHKO VALERII

D. Sc. (Tech), Professor
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>
Scopus Author ID: 6506189670
ResearcherID: J-6517-2017
E-mail: te@kpi.ua

BILOUS INNA

PhD (Tech.), Associate Professor
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
<http://orcid.org/0000-0002-6640-103x>
Scopus Author ID: 57194104035
ResearcherID: J-7070-2017
E-mail: biloys_inna@ukr.net

SUKHODUB IRYNA

PhD (Tech.), Associate Professor
National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
<http://orcid.org/0000-0002-5895-1306>
Scopus Author ID: 57140834000
ResearcherID: I-9788-2017
E-mail: ira_krot@ukr.net

BOIKO TETYANA

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
<https://orcid.org/0000-0002-8722-6103>
E-mail: tetyana.boiko@gmail.com

ДЕШКО В. И., БИЛОУС И. Ю., СУХОДУБ И. О., БОЙКО Т. Ю.

Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

**ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ УЧЕБНЫХ КОРПУСОВ УНИВЕРСИТЕТА В УСЛОВИЯХ
КАРАНТИННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ УКРАИНЫ**

Цель. Проанализировать особенности энергопотребления здания учебного корпуса №17 Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» в условиях карантинных ограничений при реализации энергосберегающих схем отопления.

Методика. Энергетическое динамическое моделирование здания учебного корпуса университета, созданного в программной среде DesignBuilder при обычном и карантинном режимах работы.

Результаты. Рекомендации по реализации энергосберегающих режимов работы отопления здания учебного корпуса университета в период дистанционного обучения при внедрении карантинных ограничений в Украине.

Научная новизна. Развита комплексный подход к углубленному анализу энергопотребления в условиях частичного использования помещений учебных корпусов в период карантина. Обосновано,

что использование помещений при частичной эксплуатации здания требует дополнительных удельных затрат на отопительные нужды.

Практическая значимость. Проведено имитационное динамическое моделирование энергопотребления здания на отопление для различных режимов работы и занятости/использования помещений учебных корпусов в период карантина в Украине, результаты исследования позволят получить комплекс энергетических характеристик здания в целом и отдельных его помещений/зон для почасового изменения внутренних условий эксплуатации и внешних климатических условий. Использование предложенной схемы работы отопительной системы здания учебного корпуса позволяет сократить энергопотребление за отопительный период на 8,5% по сравнению с энергопотреблением при обычном режиме работы, что экономически целесообразно в условиях частичной занятости здания во время карантинных ограничений (во время локдауна) и непредсказуемой макроэкономической ситуации на рынке энергоносителей, обуславливающая тренд к росту цен на основные энергоносители.

Ключевые слова: карантин; температура воздуха; средняя радиационная температура; график работы; потребление тепловой энергии; отопительная система; энергопотребление; учебные заведения; энергосбережение.

DESHKO V. I., BILOUS I. Y., SUKHODUB I. O., BOYKO T. Y.

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

ENERGY CONSUMPTION OF THE UNIVERSITY EDUCATIONAL BUILDINGS IN THE CONDITIONS OF QUARANTINE RESTRICTIONS OF UKRAINE

Target. To analyze the features of energy consumption of the building of the educational building No. 17 of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" in the conditions of quarantine restrictions in the implementation of energy-saving heating schemes.

Methodology. Dynamic energetic modeling of a university academic building created in the DesignBuilder software environment under normal and quarantine modes.

Results. Recommendations for the implementation of energy-saving modes of heating the building of the academic building of the university during the period of distance learning when introducing quarantine restrictions in Ukraine.

Scientific novelty. An integrated approach has been developed to an in-depth analysis of energy consumption under conditions of partial use of the premises of educational buildings during the quarantine period. It is substantiated that the use of premises with partial operation of the building requires additional unit costs for heating needs.

Practical significance. Simulation dynamic modeling of the building's energy consumption for heating for various modes of operation and employment / use of premises of educational buildings during the quarantine period in Ukraine, the results of the study will allow to obtain a set of energy characteristics of the building as a whole and its individual rooms / zones for hourly changes in internal operating conditions and external climatic conditions. The use of the proposed scheme of operation of the heating system of the building of the educational building allows to reduce energy consumption during the heating period by 8,5% compared to energy consumption during normal operation, which is economically feasible in conditions of partial occupancy of the building during quarantine restrictions (during lockdown) and an unpredictable macroeconomic situation on the energy market, causing a trend towards an increase in prices for basic energy resources.

Keywords: quarantine; air temperature; average radiation temperature; work schedule; heat energy consumption; heating system; energy consumption; educational institutions; energy saving.