

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 697.1

В. І. Дешко, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8218-3933

І. О. Суходуб, канд. техн. наук., ORCID 0000-0002-5895-1306

О. І. Яценко, магістрант

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОГО НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

У даній роботі проаналізовано різні підходи до розрахунку навантаження на систему опалення приміщення на базі вітчизняних і європейських стандартів та програми для динамічного моделювання будівель. Результати розрахунків за даними підходами мають значні відмінності за рахунок впливу містків холоду та різних підходів до розрахунку тепловтрат через підлогу на ґрунті. Врахування містків холоду може призвести до збільшення теплового навантаження на систему опалення на 10%. Проведений аналіз складових теплового навантаження на систему опалення громадської будівлі для європейського підходу за стандартом EN 12831 та за допомогою спеціалізованої програми для динамічного моделювання EnergyPlus. Методика та результати розрахунків витрат теплоти на вентиляцію за наведеними методиками майже не відрізняються. Досліджено також питому надбавку до теплового навантаження на систему у зв'язку з переривчастими режимами опалення, яка залежить від різниці температур в робочі та неробочі години та часу «розігріву» приміщення.

Ключові слова: теплове навантаження, система опалення, моделювання енергоспоживання, переривчасте опалення, тепловий комфорт.

Вступ

Громадські та житлові будівлі є значним споживачем теплової енергії в Україні. За даними [1] 44% виробленої теплової енергії споживається житлово-комунальним сектором, при цьому на централізоване опалення припадає 42%. Саме тому з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів необхідний ефективний підхід до проектування систем опалення з врахуванням можливих режимів їх роботи. Відомо, що європейська нормативна база в галузі тепlopостачання відрізняється від вітчизняної наявністю вимог до енергоефективності всієї інженерної системи та окремих її елементів, а не лише норм, які охоплюють проектування і будівництво [2].

Розрахунок теплового навантаження системи опалення для громадських будівель раніше проводився за допомогою СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [3, 4]. Однак в ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [5], який набув чинності в Україні з 1 січня 2014 року, пунктом 6.3.4 передбачено, що «теплове навантаження системи опалення слід визначати за ДСТУ Б EN 12831». В той же час стандарт ДСТУ Б EN 12831 й досі не набув чинності в Україні. В статті [6] проведено порівняння підходів до розрахунку потужності системи опалення за вітчизняними та європейськими нормами. Основна відмінність вітчизняного та європейського підходів полягає у методиці розрахунку тепловтрат через підлогу та можливість врахування лінійних мостиків холоду за спрощеним методом.

Ще одним з методів визначення розрахункової потужності системи опалення є динамічне моделювання за допомогою спеціалізованих програм, що є потужним інструментом для вивчення енергетичної ефективності та теплового комфорту будівлі. EnergyPlus є однією з найбільш передових загальнодоступних програм для моделювання енергоспоживання. Дана програма використовує кращі риси двох відомих засобів моделювання DOE-2 та BLAST, методики розрахунків в яких наближені до європейських стандартів. Порівняння технічних характеристик даних програмних засобів проводиться в статті [7], зокрема зазначається, що кожна така програма включає в себе сотні підпрограм, які працюють разом, щоб моделювати теплові та масові енергетичні потоки по всій будівлі. Комплексне моделювання є основною концепцією EnergyPlus [8], тому програма складається з трьох основних компонентів моделювання: модуль теплового і масового балансу (Heat and Mass Balance Simulation); модуль симуляції систем будівлі (Building Systems Simulation Manager) та сторонній інтерфейс для створення геометрії будівлі (Third-Party Interfaces). Менеджер моделювання (EnergyPlus Simulation Manager) контролює весь процес моделювання та здійснює ітераційні розрахунки між модулями.

Програма EnergyPlus здатна моделювати роботу традиційних систем опалення, охолодження, вентиляції, водопостачання та освітлення в будівлях, а також теплових насосів, сонячних систем тепло- та електропостачання тощо. Програма включає в себе такі можливості як моделювання енергоспоживання по зонах (враховуючи потоки повітря між зонами), розрахунок радіаційного теплообміну, поглинання вологи, десорбції, тощо. EnergyPlus використовує більш реалістичні умови управління різними системами ОВК ніж її попередники, що дозволяє отримувати точніші та надійніші результати моделювання. Програма має вбудовані шаблони типових систем вентиляції, охолодження, опалення та ін., котрі являються відправною точкою для користувачів. На основі шаблонів розробляються інші необхідні конфігурації цих систем. Моделювання в EnergyPlus забезпечує гнучкість і функціональність енергетичного аналізу протягом всіх етапів життєвого циклу будівлі з деякими обмеженнями. Програма передбачає, що системи ОВК функціонують в ідеальних умовах, при цьому не враховуючи повільного спаду продуктивності компонентів енергетичних систем внаслідок забруднень, корозії та інших впливів, які зменшують продуктивність кліматичного обладнання. Особливістю програми є те, що вона проводить як погодинні симуляції на всіх рівнях так і по обраному користувачем періоду симуляції («проектний» день (design day), доба, місяць, рік або кілька років). Також EnergyPlus має базу даних з погодними умовами IWEC (International Weather for Energy Calculation) для багатьох міст в різних країнах світу, в тому числі і для України (м. Київ та м. Одеса).

Мета та завдання

Метою роботи є аналіз різних підходів та методик розрахунку теплового навантаження системи опалення.

Відповідно до поставленої мети мають бути вирішені такі завдання:

1. Визначення теплового навантаження системи опалення з використанням вітчизняних [3] та європейських [9] стандартів, а також програми для динамічного моделювання EnergyPlus;
2. Дослідження переривчастих режимів роботи системи опалення та їх впливу на теплове навантаження;
3. Аналіз та порівняння отриманих даних.

Матеріал та результати досліджень

Об'єкт дослідження. Для аналізу зазначених методик розрахунку у якості об'єкта дослідження було обране приміщення 1-поверхової громадської будівлі «Київського центру енергоефективності» (рисунок 1, зона 4). Приміщення має розміри 6×3,5 м та дві зовнішні стіни (стіна, довжиною 6 м орієнтована на захід, 3 м – на північ). Висота приміщення 3,5 м. Зовнішні стіни виконані з цегляної кладки товщиною 0,5 м, утеплені з заходу мінеральною ватою, з півночі – пінополістиролом, товщиною 0,1 м. Вікно, розміром 1×1,4 м, складається з двохкамерного склопакета з двома напиленнями та аргонним заповненням та 5-камерного профілю. Перегородки виконані з цегли товщиною 0,125 м. Підлога на ґрунті не утеплена. Дах складається з залізобетонні плит, утеплений керамзитовим насипом та вкритий руберойдом. Температура повітря всередині приміщення 18°C, система вентиляції: природна з кратністю повітрообміну 1 год⁻¹. Режим роботи: з дев'ятої ранку до шостої години вечора кожного дня крім суботи та неділі.

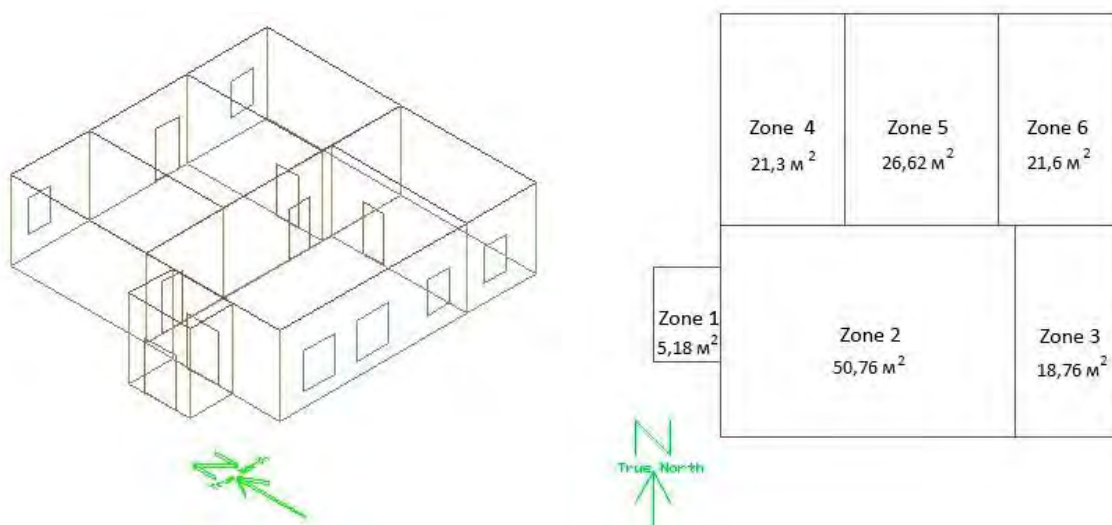


Рисунок 1 – 3D модель будівлі та вигляд зверху

Розрахунок теплового навантаження при постійному опаленні. Проектне теплове навантаження опалювального простору, згідно зі стандартом EN 12831 [8], визначається за наступною формулою:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (1)$$

де $\Phi_{T,i}$ – втрати теплоти через огорожувальні конструкції (трансмісійні тепловтрати) в даному випадку розраховуються за формулою, Вт:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2)$$

де $H_{T,ie}$ – коефіцієнт втрат тепла за рахунок теплопередачі з опалюваного приміщення (i) до навколишнього середовища (e) через оболонку будівлі, Вт/К:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \quad (3)$$

де A_k – площа елемента будівлі (k), м² (таблиця);

U_{kc} – скорегований коефіцієнт теплопередачі огороження (k), що враховує наявність містків холоду, Вт/м²·К (таблиця 1);

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb}, \quad (4)$$

де ΔU_{tb} – додаткові коефіцієнти теплопередачі для врахування містків холоду, Вт/м²·К.

Таблиця 1 – Площі та коефіцієнти теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

Тип огороження	A_k , м ²	U_k , Вт/м ² ·К	U_{kc} , Вт/м ² ·К
Стіна західна	21,18	0,427	0,577
Стіна північна	10,92	0,375	0,525
Вікно	1,4	0,877	1,377
Дах	21,3	0,954	1,054

$H_{T,ig}$ – коефіцієнт втрат тепла за рахунок теплопередачі з опалюваного приміщення (i) до ґрунту (g), Вт/К:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_w \quad (5)$$

f_{g1} – поправочний коефіцієнт, який враховує річні коливання зовнішньої температури, $f_{g1} = 1,45$;

f_{g2} – коефіцієнт пониження температури, що враховує різницю між середньою річною зовнішньою температурою та проектною зовнішньою температурою, $f_{g2} = 0,25$;

$U_{equiv,k}$ – еквівалентний коефіцієнт теплопередачі елемента огороження (k), визначений за таблицею та графіком з EN 12831 для конкретного випадку підлоги по ґрунту та стіни, що примикає до ґрунту, $U_{equiv,k} = 0,85$ Вт/м²·К

G_w – коефіцієнт, що враховує вплив ґрунтових вод, $G_w = 1$;

$\theta_{int,i}$ – проектна внутрішня температура у досліджуваному приміщенні, $\theta_{int,i} = 18^\circ\text{C}$;

θ_e – проектна зовнішня температура, $\theta_e = -22^\circ\text{C}$;

$\Phi_{V,i}$ – проектні вентиляційні втрати тепла, Вт:

$$\Phi_{V,i} = V_i \cdot \rho \cdot C_p \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (6)$$

де V_i – об'ємна витрата повітря в системі вентиляції, $V_i = 0,021$ м³/с;

ρ – густина повітря при температурі $\theta_{int,i}$, $\rho = 1,256$ кг/м³;

C_p – питома теплоємність повітря при температурі $\theta_{int,i}$, $C_p = 1005$ Дж/кг·К.

За результатами вище наведеного розрахунку за EN 12831, проектні втрати тепла та проектне теплове навантаження зони 4 будівлі наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Проектні втрати тепла, розраховані за EN 12831

Тип розрахунку	$\Phi_{T,i}$, Вт	$\Phi_{V,i}$, Вт	Φ_i , Вт
Без врахування містків холоду	1667	1045	2712
З врахуванням містків холоду	1980	1045	3025

Методика розрахунку навантаження опалювального простору, наведена в [3, 4], схожа на методику згідно з EN 12831. Відрізняється тим, що врахування містків холоду потребує використання додаткових нормативних документів та довідників, а тепловтрати через підлогу розраховуються іншим чином, по зонам. Так як підлога не утеплена на ґрунті, вона розділяється на чотири зони для знаходження тепловтрат. Площа зони 4 дозволяє поділити підлогу лише на дві зони. При розрахунку площ, частина площі першої зони (2×2 м), яка прилягає до кута зовнішніх стін, має підвищені тепловтрати і

враховується двічі. Зведемо дані по площам та опором теплопередачі відповідних зон в таблицю 3.

Таблиця 3 – Дані для розрахунку тепловтрат по зонам

Зона	I	II
Термічний опір, $m^2 \cdot ^\circ C / W$	R^I	R^{II}
	2,15	4,3
Площа зони, m^2	F^I	F^{II}
	19,14	6,156

Втрати теплоти крізь підлогу знаходяться за формулою, Вт:

$$Q_{\text{підл.}} = \left(\frac{F^I}{R^I} + \frac{F^{II}}{R^{II}} \right) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}})$$

$t_{\text{вн}}$ і $t_{\text{р.о.}}$ – теж саме, що й $\theta_{\text{int},i}$ і θ_e в методиці по EN 12831.

Результати розрахунку за методикою, наведеною в [3, 4] зведені в таблицю 4.

Таблиця 4 – Проектні втрати тепла, розраховані за [3, 4]

$Q_{\text{ок}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{вент.}}, \text{Вт}$	$Q_{\text{розр.}}, \text{Вт}$
1820	1045	2865

Оціночні розрахунки по наближеним методикам не дають необхідної картини взаємодії всіх факторів і мають відмінності у результатах 5-9% (таблиця 2, 4). Саме тому пропонується використовувати спеціалізовану програму для проведення енергетичного аналізу будівель EnergyPlus, що дозволяє проводити розрахунки не тільки навантаження на систему опалення та охолодження, використовуючи «проектні дні», так і споживання енергії з використанням погодних умов з IWEC.

Етапи виконання енергетичного моделювання будівлі в EnergyPlus:

1. Створення будівлі. EnergyPlus не має свого графічного інтерфейсу – введення і виведення інформації здійснюється через текстові файли. Але існує можливість створення геометрії шляхом завантаження файлів з інших програм, таких як AutoCAD або Google Sketch Up. Останнім часом все частіше використовується SketchUp, для якої написана велика кількість модулів для побудови моделі енергоспоживання, наприклад Open Studio Plug-in. Окрім геометрії будівлі необхідно також вказати типи конструктивних матеріалів та їх геометричні та теплотехнічні характеристики. В зв'язку з тим, що EnergyPlus враховує розподіл швидкості вітру по висоті для різних місцевостей та детально розраховує падаючу сонячну радіацію на горизонтальні та похилі поверхні, потрібно вказувати тип місцевості, територіальне розміщення, висоту над рівнем моря тощо. Для проектного розрахунку крім зовнішньої температури та амплітуди її коливання протягом дня, також задається барометричний тиск, швидкість та напрям вітру. При цьому при розрахунку навантаження на систему опалення не враховуються теплонадходження від сонячної радіації, тому обирається модель ASHRAE Clear Sky та задається параметр Sky Clearness, що дорівнює 0.

2. Моделювання. На даному етапі вирішується, які змінні розглядатимуться при моделюванні, обирається тип моделювання (проектний розрахунок чи з використанням погодного файлу) та запускається симуляція. Теплові характеристики будівлі можуть змінюватися в залежності від її призначення (офіс, житлова будівля тощо), тому що від діяльності людей залежить час використання існуючого обладнання (систем освітлення, опалення, кондиціонування тощо). Час використання протягом доби або навіть року вказується шляхом складання графіків роботи. Опис усіх цих параметрів дозволяє визначити навантаження на систему опалення та охолодження. Інженерні системи (системи опалення, вентиляції та кондиціонування) в EnergyPlus задаються за таким принципом: контур (loop) утворюється поєднанням гілок (branches), в яких послідовно з'єднуються один або декілька компонентів (components). Поєднання цих компонентів (теплообмінників, нагрівачів) відбувається через наявність вузлів (nodes) між ними. В той же час, розділення та з'єднання паралельних гілок відбувається за допомогою розділювача (splitter) та змішувача (mixer).

3. Аналіз результатів. Після запуску симуляції програма перевіряє модель на наявність помилок та невідповідностей в введених параметрах. У деяких випадках програма видає попередження щодо чинників, які можуть призводити до неправильного розрахунку. В якості результатів моделювання може виводитися велика кількість звітів, наприклад, погодинні, щоденні, щомісячні та щорічні значення енергоспоживання на опалення, охолодження, освітлення та водопостачання по зонах; дані щодо погодних умов (зовнішня температура, температура сухого та вологого термометру, швидкість та напрямок вітру тощо); конвективні, радіаційні та видимі теплонадходження від обладнання та людей,

теплотехнічні характеристики огороджуючих конструкцій тощо.

Енергетичну модель будівлі визначають чотири основні компоненти, без яких неможливий будь-який розрахунок енергоспоживання [10]: погодні дані; геометрична модель будівлі; “розклади” для внутрішніх параметрів та роботи інженерних систем; математичні моделі інженерних систем.

Під час моделювання об’єкту дослідження типи використовуваних конструктивних матеріалів та параметри, що характеризують їх властивості задаються у спеціальному вікні в програмі EnergyPlus. Так як вікна в будівлі, яка є об’єктом моделювання, двохкамерні з двома напilenнями, то у моделі задається три типи скла, які є в склопакеті: LoE CLEAR 4 mm та LoE CLEAR 4 mm Rev, які мають різну випромінювальну здатність з різної сторони скла, а також звичайне скло Clear 4 mm з однаково високою випромінювальною здатністю з обох сторін скла. Теплопередача через внутрішні перегородки не враховувалася.

Для поверхонь, які контактують з ґрунтом в EnergyPlus, важливо вказувати відповідні температури ґрунту в точці контакту. При цьому використання температур ґрунту з погодного файлу для даної місцевості призведе до зниження якості і точності отриманих результатів. Для отримання найбільш точних даних щодо температур ґрунту в точці контакту з фундаментом використовується підпрограма Slab, яка призначена для визначення середньомісячної температури ґрунту в точці контакту з фундаментом. Розрахунок в даній програмі враховує характеристики і властивості ґрунту та плити разом з граничними умовами, коефіцієнти тепловіддачі обох середовищ, середньомісячну температуру у приміщенні, сонячні теплонадходження на відповідну область ґрунту навколо будівлі. Програма Slab прораховує еквівалентну плиту з відповідним периметром і область навколо та під нею, моделюючи теплопередачу через плиту протягом ряду років (задається періодом 10 років), поки збіжність температур не буде досягнута. Область, вибрана для моделювання ґрунту, включає 15 м поверхні ґрунту навколо фундаменту та 15 м вглиб від фундаменту.

Для проектного розрахунку використовується «ідеальна система повітряного опалення» з рециркуляцією повітря (Ideal Load Air System), що не має обмежень по потужності. Витрата повітря розраховується програмою виходячи з навантаження, максимальної температури припливного повітря (50°C) та повітря в приміщенні. Прихована складова, пов’язана зі зміною вологовмісту повітря, в даному розрахунку не враховувалася.

Результати щодо навантаження на систему опалення, визначеного за допомогою EnergyPlus наведені у таблиці 5. Порівняння складових навантаження, що визначені різними підходами, наведено на рисунку 2.

Таблиця 5 – Проектні втрати тепла, розраховані з використанням EnergyPlus

$Q_{ок}, Вт$	$Q_{вент.}, Вт$	$Q_{розр.}, Вт$
1396	1146	2542

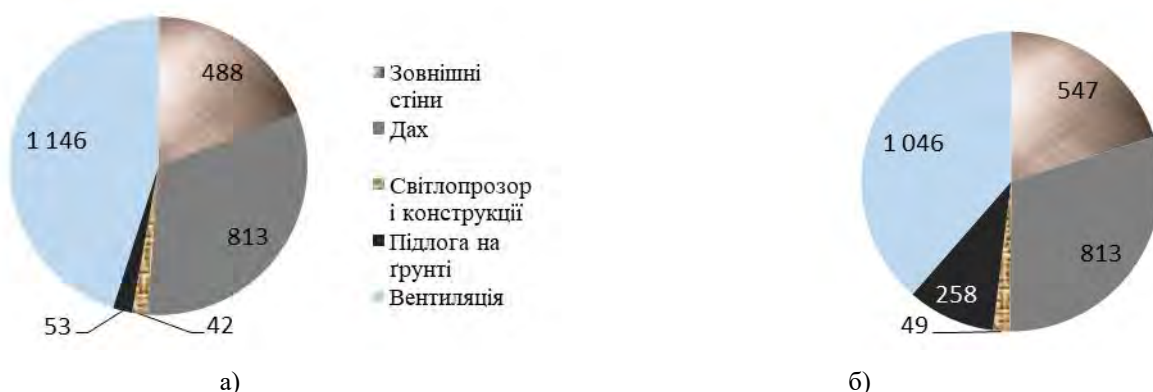


Рисунок 2 – Складові навантаження на систему опалення згідно EnergyPlus (а) та EN 12831 (б)

Відмінність значень теплових втрат через підлогу на ґрунті з використанням EnergyPlus та EN 12831 може бути за рахунок того, що програма Slab дає можливість використовувати лише середньомісячні температури ґрунту в контакті з плитою, а не в розрахунковому режимі.

Розрахунок теплового навантаження при переривчастому опаленні. Одним з найбільш ефективних шляхів економії теплової енергії при забезпеченні комфортних температурних умов є

використання переривчастого режиму опалення. Такий режим полягає у зниженні температури та навантаження на систему опалення у неробочі години.

Тепловий потік під час розігріву приміщення набагато більше ніж під час усталеного режиму. Тож величина додаткової потужності системи опалення при переривчастому опаленні в нормальному та економічному режимах залежить від наступних показників [11]:

- кількість часу, необхідного для досягнення розрахункової внутрішньої температури;
- величина зниження внутрішньої температури по відношенню до розрахункової;
- теплоакumuлююча здатності будівлі;
- повітрообмін під час розігріву.

Система опалення досліджуваної будівлі живиться від центральної системи тепlopостачання. Температурний режим в приміщеннях для опалювального періоду, наступний:

- з понеділка по п'ятницю, в робочі дні з 9:00 до 18:00 години – 18°C;
- у вихідні та святкові дні, а також в робочі дні з 19:00 до 8:00 години – 16°C.

Використовуючи програмне середовище EnergyPlus, досліджено питому надбавку до теплового навантаження зони в залежності від швидкості виходу системи опалення на режим, коли встановлюється розрахункова внутрішня температура у приміщенні.

На рисунку 3 видно, як за годину системою опалення здійснюється розігрів приміщення. При цьому помітно, що існує додаткове теплове навантаження на систему для швидкого виходу на режим. Таке навантаження визначається питомою надбавкою при зниженні температури повітря у приміщенні (рисунк 4).

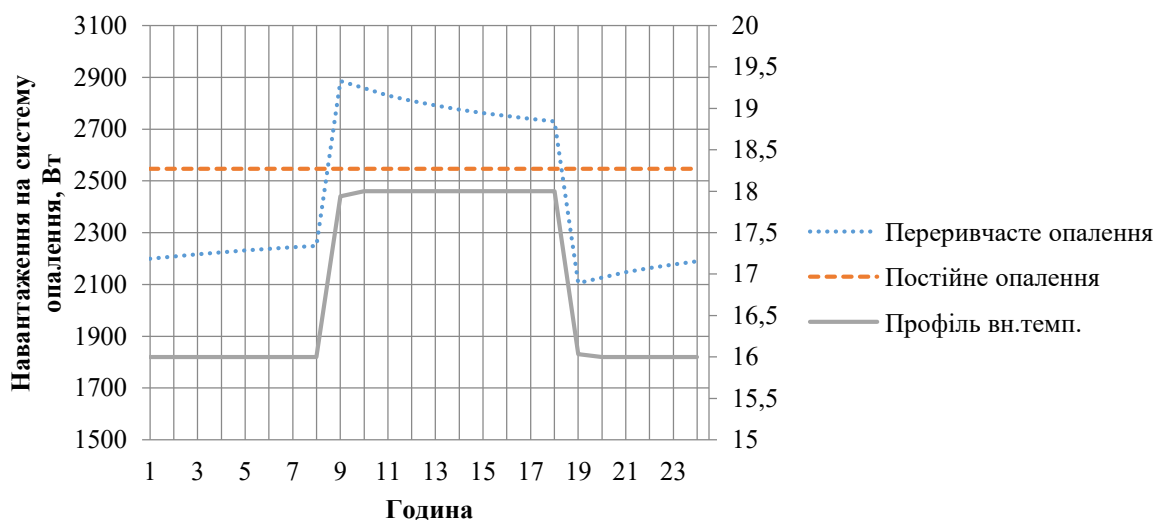


Рисунок 3 – Середнє навантаження при постійному та переривчастому опаленні з перепадом температур 2 К та тривалістю розігріву 1 год.

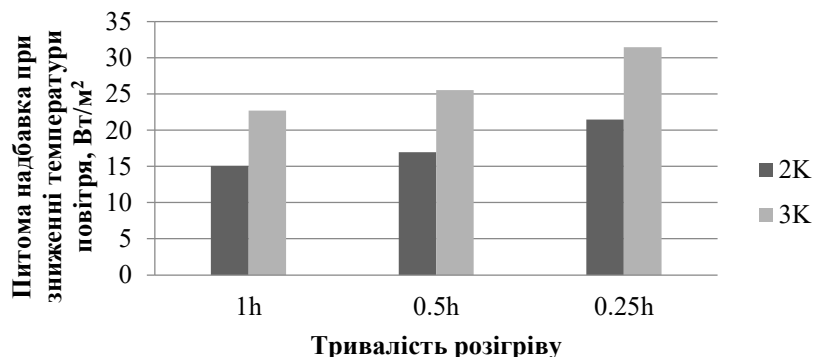


Рисунок 4 – Питома надбавка до теплового навантаження при постійному опаленні при зниженні температури повітря в залежності від температурного перепаду та часу розігріву

Порівнюючи з нормами, зазначимо, що в [5] є інформація щодо запасу потужності при змінному тепловому режимі. Тож питома надбавка при зниженні температури повітря приміщення для масивної будівлі згідно цих ДБН становить 29 Вт/м² при кратності повітрообміну в неробочі години 0,1 год⁻¹ та 43 Вт/м² при кратності 0,5 год⁻¹. При цьому в [5] не вказано температурний перепад для якого визначені данні значення. Зазначено лише, що зниження температури повітря становить не нижче 15°C.

В той же час в [12] прописано, що при годинному розігріві питома надбавка при зниженні температури для масивної будівлі становить 25 Вт/м² при температурному перепаді 2°C та 27 Вт/м² – при 3°C. Дані розрахунків за допомогою EnergyPlus є близькими до надбавок, що приведені в [12].

Висновки

В роботі проведений аналіз та співставлення результатів та особливостей методик розрахунку теплового навантаження приміщення громадської будівлі з використанням вітчизняних та європейських стандартів, а також за допомогою динамічного моделювання в програмі EnergyPlus.

Згідно EN 12831, без врахування мостиків холоду, загальне теплове навантаження системи опалення для даного приміщення складає 2712 Вт (трансмійні – 1667 Вт, з вентиляцією – 1045 Вт), з врахуванням мостиків холоду за спрощеним методом – 3025 Вт. За результатами розрахунків згідно [1], при розрахунку тепловтрат підлоги по зонам, загальне теплове навантаження складає 2865 Вт, значення якого є близьким до результатів розрахунку за EN 12831 без врахування мостиків холоду.

Необхідно зазначити, що вітчизняні методики розрахунку теплового навантаження системи опалення принципово не відрізняються від західних. Розрахунок за європейським стандартом є більш деталізованим, що може бути пов'язано з вищими вимогами до енергоефективності. Він має розходження від національного стандарту в подробицях етапів розрахунку, позначеннях величин, одиницях виміру певних коефіцієнтів.

За результатами розрахунку в програмі EnergyPlus загальне теплове навантаження на систему опалення складає 2542 Вт. При цьому через непрозорі огорожувальні конструкції втрати теплоти становлять 1354 Вт, світлопрозорі – 42 Вт, на нагрівання вентиляційного повітря - 1146 Вт. Розрахунок теплопередачі підлоги на ґрунті програма виконує з використанням підпрограми Slab PreProcessor, а розрахунок коефіцієнту теплопередачі для склопакету на основі програми Window5. На жаль, програма EnergyPlus не враховує у розрахунку мостики холоду, для врахування їх ефектів необхідно проводити детальне моделювання для розрахунку приведеного коефіцієнту теплопередачі.

Розрахунки переривчастих режимів опалення за допомогою програми EnergyPlus дозволяють визначати питому надбавку до потужності системи опалення при різних різницях температур між годинами зайнятості та незайнятості, а також інтервалах виходу на розрахункову температуру.

Наявність моделі енергоспоживання будівлі в програмі EnergyPlus дозволяє в перспективі прийняти оптимізаційні рішення шляхом дослідження зміни енергетичних характеристик будівлі при зміні технічних характеристик обладнання, огорожувальних конструкцій, режимів роботи інженерних систем тощо.

Список використаної літератури

1. Полуянов В. П. Перспективы развития централизованного теплоснабжения в Украине в контексте государственно-частного партнерства / Полуянов В. П., Кравченко Р. С. // БІЗНЕСІНФОРМ, 2012. – №5. – С. 109–112.
2. Колесник, Е. Энергоэффективность строительной отрасли: приоритетные нормативные документы [Электронный ресурс] / Е. Колесник // Энергосбережение в зданиях. – 2010. – 16 февраля. – Режим доступа: <http://www.patriot-nrg.ua/rus/savings/view/50>. – Загл. с экрана. – Проверено: 17.09.2015.
3. СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование
4. Богословский В. Н., Сканава А. Н. Отопление: Учеб. для вузов. - М.: Стройиздат, 1991.–735 с. ISBN 5-274-01527-1.
5. Державні будівельні норми України ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування; надано чинності 2014-01-01. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 141 с.
6. Солод Л. В. Порівняльний аналіз українських та європейських правил розрахунків потужності систем тепlopостачання / Л. В. Солод, А. В. Адегов, В. Н. Волошко // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – 2015. – Вып. 84. – С. 186-191
7. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program / D. B. Crawley, L. K. Lawrie [and others] // Energy and Buildings. – 2001. – Vol. 33. – P. 319-331.
8. Crawley D. B. EnergyPlus: new capabilities in a whole-building energy simulation program / D. B. Crawley, L. K. Lawrie [and others] // Seventh International IBPSA Conference (August 13-15, 2001, Rio de Janeiro)

9. EN 12831:2003 E Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. (Опалювальні системи в будівлях – Розрахунок теплових навантажень) – CEN, 2003. – 76
10. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software. Input Output Reference. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.6.0/InputOutputReference.pdf
11. Дацюк Т.А. Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении / Дацюк Т.А., Ивлев Ю.П., Пухкал В.А. // Современные проблемы науки и образования: электронный научный журнал. – 2014. - №5. – Библиогр.: 6 назв.
12. BS EN 12831:2003 Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. – BSI, 2003. – 88 p.

УДК 697.1

В. И. Дешко, д-р техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-8218-3933

И. О. Суходуб, канд. техн. наук. ORCID 0000-0002-5895-1306

Е. И. Яценко, магистрант

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

В данной работе проанализированы различные подходы к расчету нагрузки на систему отопления помещения на базе отечественных стандартов, европейских стандартов и программы для динамического моделирования зданий. Представлены результаты расчетов по этим подходами, а также исследовано дополнительную нагрузку на систему в связи с прерывистыми режимами отопления для данного помещения.

Ключевые слова: тепловая нагрузка, система отопления, моделирование энергопотребления, прерывистое отопление, тепловой комфорт.

V. Deshko, Dr. Sc. Sciences., Prof., ORCID 0000-0002-8218-3933

I. Sukhodub, Cand.Sc. (Eng.), ORCID 0000-0002-5895-1306

O. Yatsenko, Msc.

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

THE INVESTIGATION OF DIFFERENT APPROACHES TO HEATING SYSTEM LOAD DETERMINATION

This paper analyzes various approaches that might be used for heating load calculation for room. These approaches include calculations from national and European standards (EN 12831) and special software for building dynamic simulation EnergyPlus. The results of these calculations vary due to influence of thermal bridges on heat transfer through building envelope. Thermal bridges effect can increase heat load for the room by 10%. Ventilation thermal losses are almost the same in all three approaches. Also ground heat transfer is treated by different methods, for example, by dividing the floor into the thermal zones or by equivalent heat transfer coefficient. The results of heat transfer rate through the floor using European standard and Slab pre-processor in EnergyPlus program are very different due to the fact, that EnergyPlus uses monthly average

ground temperatures. The influence of the intermittent heating on the room heating load was also explored for different set-back temperatures and reheat time. Heating-up capacity required to compensate for the effects of intermittent heating increases with the increase of temperature difference during occupied and unoccupied hours and with the decrease of reheat time. Therefore, using intermittent heating modes for public buildings on the one hand decreases energy consumption for heating, but on the other hand increases heating load and capital cost of heating system. Further investigation can be developed for searching the optimum between energy saving potential and capital cost increase for heat source and emission system in terms of set-back temperature and reheat time.

Keywords: heating load, heating system, energy consumption modeling, intermittent heating, thermal comfort.

References

1. Poluyanov V.P., Kravchenko R.S. (2012) Perspektivi razvitiya zentralizovanogo teplosnabgeniya v Ukraine v kontekste gosudarstvenno-chastnogo partnerstva [Prospects of the district heating development in Ukraine in the context of state-private partnership]. *Biznesinform*, 5, 109–112 [in Russian].
2. Kolesnik E. Energoeffektivnost stroitelnoy otrasli: prioritetnyie normativnyie dokumentyi [Energy efficiency of the construction industry: priority regulatory documents]. *Energoberezhenie v zdaniyah – Energy savings in buildings*, 2010. Available at: <http://www.patriot-nrg.ua/rus/savings/view/50> (Accessed 17 September 2015).
3. SNiP 2.04.05-91 Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia kondytsionuvannia [Heating, ventilation and air conditioning]
4. Bogoslovskiy V. N., Skanavi A. N. Otoplenie [Heating]. Moscow, Stroyizdat, 1991. 735 p.
5. DBN V.2.5-67:2013 Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsionuvannia [DBN V.2.5-67: 2013 Heating, ventilation and air conditioning]. Kyiv, Ukraine Ministry of Regional Development, 2013. 141 p.
6. Solod L.V., Adegov V.N., Voloshko V.M. (2015) Porivnyalnyi analiz ukrainskikh ta evropeiskikh pravil rozrachunkiv potugnosti systemi teplopostachennya [Comparison analysis of Ukrainian and European heating load calculation rules]. *Stroitelstvo. Materialovedeniye. Mashinostroyeniye. – Construction. Materials Science. Mechanical engineering.*, 84, 186–191 [in Ukrainian].
7. Crawley D.B., Lawrie, L.K., Winkelmann F.C., Buhl W.F. [and others] (2001). EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, **33**(4), 319-331.
8. Crawley D.B., Lawrie L.K. [and others] (2001). EnergyPlus: new capabilities in a whole-building energy simulation program. BS2001. IBPSA, 51-58.
9. EN 12831:2003 Heating systems in buildings. Method for calculation of the design heat load; publication Date 22 August 2003, 76 p.
10. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software. Available at: https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.6.0/InputOutputReference.pdf
11. Dazuk T.A., Ivlev U.P., Puchkal V.A. (2014) Modelirovanie teplovogo regima gilich pomesheniy pri pririvistom otoplenii [Modeling of the thermal regime of residential premises with intermittent heating.]. *Sovremennie prolemi nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 5 [in Russian].
12. BS EN 12831:2003 Heating systems in buildings. Method for calculation of the design heat load, 88 p.

Надійшла 28.04.2017
Received 28.04.2017