

УДК 697.1

В.І. Дешко, *д-р. техн. наук, професор,*

О.М. Шевченко, *аспірант,*

М.М. Шовкалюк, *асистент,*

І.А. Кріпак, *магістр.*

Кафедра теплотехніки та енергозбереження ІЕЕ НТУУ «КПІ»

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕНЬ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕНЕРГОАУДИТУ БУДІВЕЛЬ

Вступ та постановка задач дослідження

Сьогодні в Україні немає єдиного підходу до проведення енергоаудиту будівель, для чого повинен бути прийнятий відповідний нормативний документ, який би визначав процедуру та зміст робіт. Особливої актуальності дане питання набуває у зв'язку з необхідністю врахування фактичних умов експлуатації існуючих будівель. Саме тому виникають ситуації, коли невірно оцінюються показники енергоефективності будівель [1], а впроваджені заходи з енергозбереження не дають очікуваного ефекту.

Існують окремі методики визначення: повітропроникності огорожувальних конструкцій будівлі в натурних умовах [2], питомих тепловитрат на опалення будинку [3], опору теплопередачі огорожувальних конструкцій [4], теплостійкості огорожувальних конструкцій [5]; тепловізійного контролю якості теплоізоляції огорожувальних конструкцій [6], показників енергетичного паспорту будівлі [7], однак їх використання при проведенні енергоаудиту, а також визначення температурного стану приміщень потребують подальшого опрацювання.

Стаття спрямована на розробку рекомендацій щодо процедури визначення температурної карти будівлі, з використанням методів моделювання теплового стану приміщень.

Дослідження проведено на базі комп'ютерної моделі приміщення будівлі у поєднанні з натурним експериментом.

Загальна характеристика моделі

Комп'ютерна модель описує приміщення певних розмірів та орієнтації відповідно до сторін світу з зовнішніми та внутрішніми стінами, вікнами та опалювальними приладами, тепловий стан якого змінюється під впливом погодних умов та внутрішніх теплонадходжень.

Зовнішні стіни мають декілька шарів, які описуються як геометричними параметрами (довжина; висота; товщина) так і теплофізичними (теплопровідність; питома теплосмність; густина). Внутрішні стіни та перекриття мають лише один будівельний шар.

В загальному тепловому балансі, окрім теплопередачі через стіни та потужності опалення, враховуються додаткові теплонадходження від

людей та електричних приладів, сонячна інсоляція, а також втрати на вентилявання приміщення. Модель дозволяє визначати стан температури повітря приміщення при зміні зовнішніх умов.

Детальний опис параметрів моделі та дослідження їх впливу на тепловий стан приміщень будівлі наведено в [8].

Перевірка розрахункової моделі натурним експериментом

За допомогою розробленої моделі, в рамках експерименту було проведено діагностування температурно-теплого режиму, двох приміщень, які розташовані на першому та четвертому поверхах корпусу НТУУ «КПІ» № 22. Геометричні розміри кімнат наведено на рис. 2, характеристики термічного опору приймалися за паспортними даними, тип скління - подвійне в дерев'яних спарених плетіннях, загальною площею $6,8 \text{ м}^2$, опір теплопередачі $0,34 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$ та зорієнтовані на Південь. В кожній кімнаті знаходяться два чавунні опалювальні прилади М-140-АО.

На першому етапі експерименту проводилися виміри температури в зазначених приміщеннях (за окремі інтервали часу, загалом з 01.10.2010 р. по 20.01.2011 р.), знімалися дані параметрів теплоносія з теплолічильника у тепловому пункті корпусу, визначалися зміна температури зовнішнього повітря, характер та можливі значення додаткових теплонадходжень (ТН).

Для вимірювання температур у приміщеннях використано термохромні датчики накопичувачі двох типів DS 1921 та DS 1922, що мають різну дискретність вимірювань ($0,5^\circ\text{C}$ та $0,0625^\circ\text{C}$ відповідно). При цьому розрахункова модель надає результати з розрядністю до шести знаків, тому результати моделювання більш чутливі до впливу змін зовнішніх умов.

Другий етап експерименту передбачав налаштування моделі у відповідності з характеристиками приміщень: задавалися геометричні розміри та теплофізичні властивості огорожувальних конструкцій приміщень, характер зміни температури подачі теплоносія, зміна сонячної радіації та ТН.

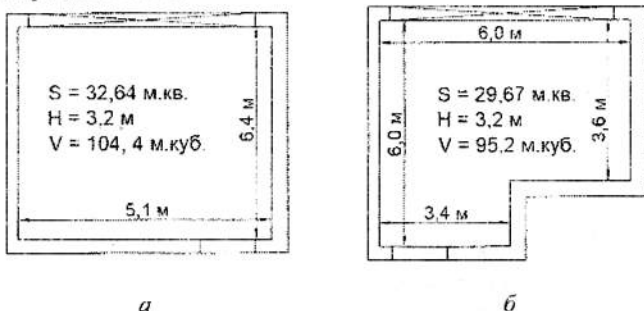


Рис.2. Схема приміщень

а – приміщення першого поверху, б – приміщення четвертого поверху

Приміщення першого поверху розташоване на ґрунті, тому при розрахунках були враховані тепловтрати через зони підлоги. Втрати на інфільтрацію повітря розраховувалися через різницю тисків та температур на поверхні вікон, для розрахунків прийнято: максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами $v = 4,3$ м/с; коефіцієнт врахування зміни швидкості повітря за висотою будівлі $\beta_v = 1$; опір повітропроникності огороження $R = 0,06$ м² год·Па/кг.

Методика врахування впливу погодних умов

Для проведення розрахунку теплових режимів у приміщеннях, використовувалися архівні дані про погоду, отримані з [9]. Графічне представлення зміни температури ззовні за період 01 - 07.12.2010 для кімнати першого поверху, та 14 - 20.01.2010 для кімнати четвертого поверху, наведено на рис.3.

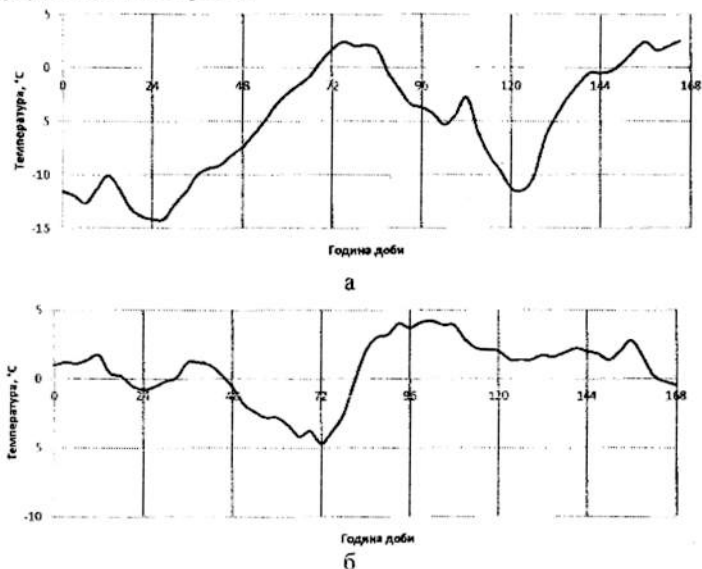


Рис.3. Зміна зовнішньої температури
а – температура ззовні для кімнати першого поверху, б – температура ззовні для кімнати четвертого поверху

Порівняно з даними про температуру, значення сонячної радіації в архівах метеоданих знайти доволі складно, це особливо стосується сумарних щоденних значень радіації. У такому випадку їх необхідно фіксувати інструментально безпосередньо для даного приміщення з використанням спеціалізованих приладів. При відсутності останніх нами запропоновано наступний підхід визначення потоку сонячної радіації залежно від хмарності в балах. Для цього використовувалися дані [10] та [11], що дають можливість оцінити потік фактичної сонячної радіації та

потік радіації, який мав би місце при відсутності хмар, на базі яких проведено визначення залежності потоку сонячної радіації від хмарності (рис.4).

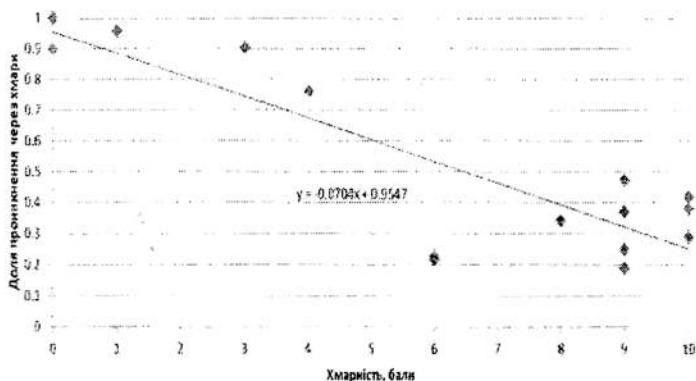


Рис. 4. Залежність долі проникнення сонячної радіації від хмарності: x – хмарність, бали; y – доля проникнення

Однак, використовуючи описаний підхід необхідно зважати на точність отриманих величин, пов'язану, в тому числі й, з потребою врахування розподілу сонячної радіації протягом доби, географічною широтою розміщення будівлі, орієнтацію за сторонами світу тощо.

Результати моделювання температурно-теплового режиму приміщень представлені на рис.5-6.

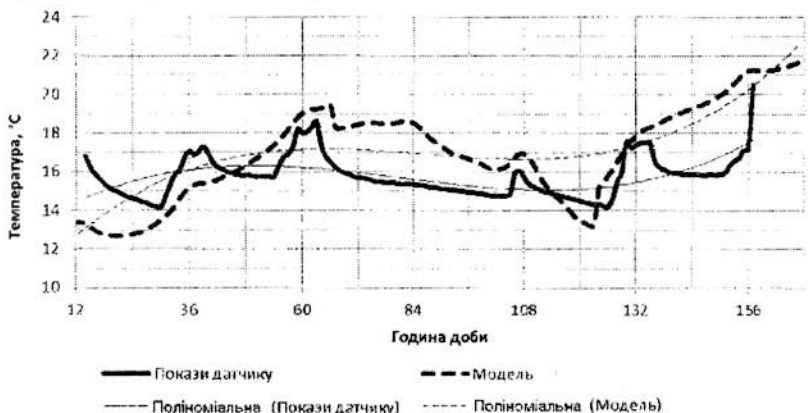


Рис. 5. Результати діагностики температурно-теплового режиму кімнати першого поверху (температурний датчик DS 1922)

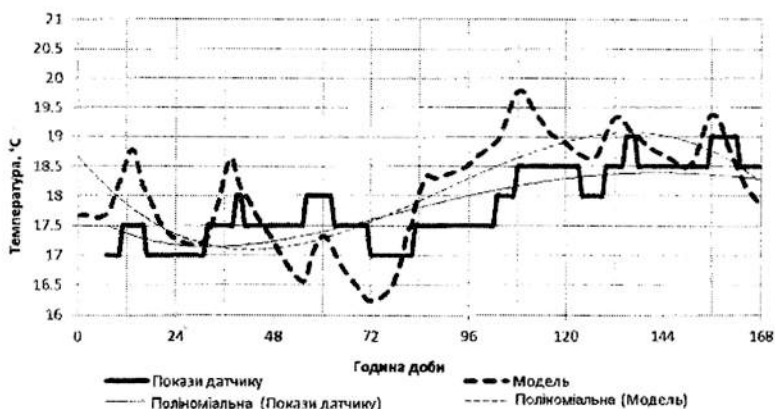


Рис. 6. Результати діагностики температурно-теплого режиму кімнати четвертого поверху (температурний датчик DS 1921)

Для аналізу та розуміння впливу окремих факторів (додаткові тепловиділення в приміщенні, ГН від сонячної радіації, зовнішня температура, опір теплопередачі зовнішніх стін та вікон) на зміну температурно-теплого режиму приміщень проведено параметричний аналіз чутливості моделі (табл.1) [8].

Таблиця 1

Параметричний аналіз чутливості моделі до виділених факторів

Параметр	Величина чутливості
Температура зовнішнього повітря	0,57
Сонячна радіація	0,24
Побутові тепловиділення	0,2
Опір теплопередачі вікна	0,15
Опір теплопередачі стін	0,08

Таким чином, одними з найбільш впливових параметрів на температуру всередині приміщень є температура зовнішнього повітря та сонячна радіація. Так, зміна зовнішньої температури на 1°C призводить до зміни внутрішньої на $0,6^{\circ}\text{C}$ (у стаціонарному режимі).

Аналіз рис. 5-6 вказує на подібний характер зміни розрахункової та реальної температури у приміщеннях. Зокрема, побудована поліноміальна лінія за розрахунковими значеннями має схожі форми до лінії тренду, побудованої за даними температурних датчиків. Для прикладу, аналіз протягом третьої доби (48-72 год., рис.6) показує, що коливання температури всередині приміщення повторює коливання зовнішньої температури, як за результатами експерименту, так і за результатами моделювання. Така залежність пов'язана ще й з тим, що

має місце вплив повітрообміну – це головний чинник залежності коливань внутрішньої температури при зміні зовнішньої. Детальні розрахунки показують, що за відсутності цього фактору коливання відбувалося б із запізненням та мало меншу амплітуду. Середня, за аналізовану добу, температура ($17,6^{\circ}\text{C}$) найбільш відповідає миттєвим значенням температур в інтервалі з 16-00 до 10-00 год. Середня похибка між реальною та розрахунковою температурою за добу для кімнати першого поверху становить $2,28^{\circ}\text{C}$ та $0,63^{\circ}\text{C}$ для кімнати четвертого поверху.

Загалом розрахункова модель отримала температури вищі за реальні, так середня обрахована температура протягом досліджуваного періоду для кімнати першого поверху становила $16,7^{\circ}\text{C}$, тоді як середня реальна $15,77^{\circ}\text{C}$. Відповідні значення усереднених температур для кімнати четвертого поверху становлять: $18,1^{\circ}\text{C}$ за результатами експерименту та $17,84^{\circ}\text{C}$ за реальними даними за весь період дослідження. Для опрацювання середньодобових коливань можливе представлення поліноміальних залежностей й у по добовому вигляді. Для отримання чіткої відповідності експериментальних даних розрахунковим необхідно також враховувати особливості визначення температур приладами вимірювання (миттєві значення, чи усереднені за проміжок часу).

Отже, при проведенні короткотермінових вимірювань температури в ході енергетичного аудиту для визначення середньодобової температури бажано провести замір в інтервалі з 16-00 до 10-00 години доби.

Висновки

В рамках експерименту, була виконана спроба діагностування температурно-теплових режимів будівель за допомогою відповідної комп'ютерної моделі, а також за допомогою приладного моніторингу зміни внутрішніх та зовнішніх температур повітря виходячи з потреб енергетичного обстеження будівлі.

У зв'язку з обмеженими можливостями найбільш вживаного варіанту інструментального аналізу, що обумовлені разовими (миттєвими) вимірами, поєднання експериментальних даних з результатами моделювання може бути доцільним. Рациональний вибір часу вимірів з урахуванням чутливості внутрішньої температури до окремих факторів дозволяє: використати короткотермінові вимірювання для визначення середніх за певний період та коректно розповсюджувати їх на більш широкий інтервал часу.

Розроблена модель дозволяє диференціювати вплив окремих факторів на середню температуру в приміщенні. Показано, що найбільшої уваги потребує врахування впливу сонячної радіації та повітрообміну, тому цим факторам треба приділяти більше уваги при

проведенні енергетичних обстежень приміщень: складанні температурних карт та теплових балансів.

Особливо корисними, подібні до запропонованої, моделі можуть бути при необхідності визначення зміни температур у приміщеннях протягом тривалого часового проміжку. Оскільки в такому разі проведення серійних вимірювань є затратним, а використання моделювання при відомому впливі факторів на зміну температури в приміщеннях: по-перше значно спростить процес обстежень та по-друге зменшить грошові витрати. Подібні модельні підходи можуть бути також використані при аналізі та моніторингу температурних режимів приміщень в умовах активного регулювання приладів опалення.

Список літератури

1. *Особливості енергетичної паспортизації фонду будівель в Україні* /В. І. Дешко, Г.Г. Фаренюк, О. М. Шевченко // *Енергозбереження в будівництві*. – 2011. – № 2. – С. 71-79.
2. *ДСТУ Б В.2.2-19:2007. Будинки і споруди. Метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах*. – К., 2008. – 22 с.
3. *ДСТУ Б В.2.2-21:2008. Будинки і споруди. Метод визначення питомих тепловитрат на опалення будинків*. – К., 2009. – 18 с.
4. *ГОСТ 26254-84. Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций*. – М., 1994. – 26 с.
5. *ГОСТ 26253-84. Здания и сооружения. Метод определения теплоустойчивости ограждающих конструкций*. – М., 1984. – 10 с.
6. *ГОСТ 26629-85. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций*. – М., 1985. – 14 с.
7. *ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Настанова з розробки та складання енергетичного паспорту будівель*. – К., 2008. – 43с.
8. *В. И. Дешко, М. М. Шовкалюк, А. В. Ленькин. Моделирование теплового состояния помещений при изменении режимных параметров отопления* // *Промышленная теплотехника*. Т.31 - 2009. – № 6. – с.75-80.
9. www.pogoda.by [Електронний ресурс].
10. www.soda-is.com [Електронний ресурс].
11. www.metco.infospace.tu [Електронний ресурс].
12. *Солнечная радиация и радиационный баланс (мировая сеть) январь – март 2007 / Мировой центр радиационных данных ВМО*. – Санкт-Петербург: МЦРД. – 2009. – 450 с.