

ДІАГНОСТИКА ТЕМПЕРАТУРНО-ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ БУДІВЕЛЬ

V.DESHKO, M.SHOVKALYUK, O.SHEVCHENKO, I.KRIPAK

DIAGNOSIS OF TEMPERATURE AND THERMAL CONDITIONS OF BUILDINGS

Анотація. В статті виконано аналіз теплових процесів, які протікають в приміщенні. Особлива увага приділяється впливу додаткових теплонадходжень та сонячної радіації на загальний температурний стан в приміщенні. Розглядається відмінність перебігу теплових процесів в приміщеннях з різним ступенем теплового захисту.

Ключові слова: тепловий баланс, моделювання, опалення приміщень.

Аннотация. В статье выполнен анализ тепловых процессов, которые протекают в помещении. Особенное внимание уделяется влиянию дополнительных теплопоступлений и солнечной радиации на общее температурное состояние в помещении. Рассматривается отличие протекания тепловых процессов в помещениях с разной степенью тепловой защиты.

Ключевые слова: тепловой баланс, моделирование, отопление помещений.

Annotation. In the article the analysis of thermal processes that occur in the room. Particular attention is paid to the influence of additional revenue of heat and solar radiation on the general state of the temperature in the room. We consider the difference between the flows of thermal processes in environments with varying degrees of thermal protection.

Key words: heat balance, simulation, space heating.

Вступ, огляд останніх досліджень та постановка проблеми

Режими експлуатації приміщень характеризуються істотною нерівномірністю теплового стану і потребують детального вивчення для розробки заходів щодо підвищення енергоефективності. Моделі теплового режиму використовуються для розрахунку температурних полів будівельних конструкцій [1, 2] з урахуванням теплопровідних включень [3], вологісного стану [4], оцінки теплоспоживання [5], вибору оптимальної теплоізоляції [6]. Повне врахування усіх факторів призвело би до ускладнення розрахунків, тому будь-яка модель має спрощення. В умовах зростання теплового захисту зростає цінність досліджень теплових режимів будівель до та після реконструкції будівель. Щоб оцінити додержання комфортних умов або ефективність введення регулювання, потрібно мати можливість визначати теплові потоки, температури повітря та огорожень з урахуванням змін зовнішніх температур, впливу побутових теплонадходжень від приладів, людей та сонця, що ускладнює розрахунки. Таким чином, виникає необхідність замінювати стаціонарні розрахунки моделюванням, що є ефективним способом дослідження теплових режимів, тоді як отримані висновки можуть бути впроваджені на практиці. Моделювання дозволяє розширити коло задач, визначити оптимальні параметри досліджуваного об'єкта (режими експлуатації, конструктивні рішення, тощо), більш достовірно визначити розподіл теплових потоків і витрату теплоти на опалення.

Метою роботи є розробка математичної моделі і аналіз за її допомогою складових теплового балансу, дослідження впливу нестационарних процесів на загальний тепловий стан приміщень з різним рівнем теплового захисту.

Математичний опис моделі

Комп'ютерна модель описує приміщення 4x4x2,5 м з двома зовнішніми стінами, орієнтованими на північ та схід, одна з яких має вікно площею 3,5 м² та коефіцієнтом теплопередачі 2,127 Вт/(м²·К). Зовнішні стіни мають декілька шарів, які описуються геометричними і теплофізичними параметрами. Внутрішні стіни та перекриття мають один шар. Розглядалися два випадки конструкції стін: без ізоляції з термічним опором 0,796 (м²·К)/Вт та ізольовані з опором 2,8 (м²·К)/Вт. Як джерело теплоти виступає опалювальний прилад M140-AO (7 секцій), який має визначену витрату теплоносія та температуру води, яка може бути постійною, або ж змінюватися у відповідності до заданого графіка подачі. В загальному тепловому балансі, окрім теплопередачі та акумулювання теплоти в огорожувальних конструкціях, враховуються додаткові теплонадходження від людей та приладів, сонячна інсоляція, а також втрати на вентилування (рис.1).

Теплопровідність в огорожувальних конструкціях стін, стелі, підлоги описується одновимірним рівнянням:

$$c_j \rho_j \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda_j \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}; \quad t = t(x, \tau), \quad x \in (\overline{0, \delta_j}) \quad (1)$$

де c, ρ, λ – відповідно теплоємність (Дж/кг°C), густина (кг/м³) та коефіцієнт теплопровідності (Вт/м°C) j – го шару огорожувальної конструкції;

x – просторова координата;

t – температура i – го вузла;

τ – час.

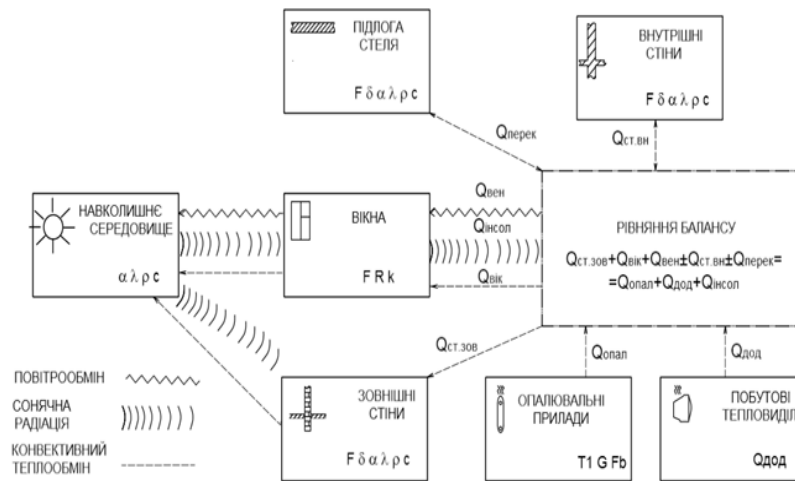


Рис. 1. Схема теплових зв'язків моделі

Для вирішення диференціального рівняння використано метод скінченних різниць. Для отримання замість диференціального рівняння скінченно-різницевого рівняння необхідно замінити область неперервної зміни аргументу дискретною множиною точок (сіткою), а потім замінити (апроксимувати на сітці) диференціальне рівняння різницеvim. В результаті питання чисельного розв'язку диференціального рівняння зводиться до рішення різницеvих рівнянь.

Стіна розглядається як багатошарова конструкція з кількістю шарів nm з різними теплофізичними характеристиками шарів. Для кожного шару вводиться своя координатна сітка. Кожен шар розділяємо по товщині на n вузлів. Таким чином, для кожного j -го шару конструкції задається множина вузлів $\overline{\omega}_x = \{x_i = (i-1)\Delta x_j, i = \overline{1, n}, \Delta x_j = h_j / (n-1), 0 \leq x \leq h_j\}$, де $x_1 = 0, x_n = h_j$ – граничні вузли, а $\omega_x = \{x_i = (i-1)\Delta x_j, i = \overline{2, n-1}\}$ – множина внутрішніх вузлів. Далі функція неперервного аргументу $t(x)$ розглядається функцією $t(x_i) = t_i$ дискретного аргументу x_i , де x_i – вузол сітки $\overline{\omega}$. Така сіткова функція може бути представлена у вигляді вектора $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ скінченно вимірного простору розмірністю n . Зміна температури по шару на інтервалах координатної сітки вважається кусочно-сталою. На осі внутрішніх огорожень встановлюються адіабатичні умови. Коли розглядається підлога першого поверху або стеля останнього, на них треба задавати умови теплообміну з зовнішнім середовищем. Скінченно-різницеvий аналог рівняння (1) за неявною схемою для множини внутрішніх вузлів ω_x кожного шару:

$$c_j \rho_j \frac{t_i^{p+1} - t_i^p}{\Delta \tau} = \lambda_j \left(\frac{t_{i+1}^{p+1} - 2t_i^{p+1} + t_{i-1}^{p+1}}{\Delta x_j^2} \right), \quad i \in (\overline{2, n-1}), \quad j \in (\overline{1, nm}), \quad \Delta x_j = h_j / (n-1)$$

де i – номер вузла по координаті, для якого складається баланс енергії;

j – шар, що розглядається; h_j – товщина j -го шару, м; n – кількість вузлів;

p – часовий рівень; $\Delta \tau$ – квант часу; Δx_j – квант відстані.

В загальному випадку граничні умови на зовнішній поверхні огороження описують складний теплообмін, що визначається умовами II (задана інтенсивність теплового потоку) та III

роду (задані умови теплообміну з навколишнім середовищем). Граничні умови на зовнішніх поверхнях внутрішніх стін симетричні. Більш детально опис математичної моделі наведено у [7]. Перевірка працездатності моделі проводилася шляхом визначення відхилення розрахунків при перебудові координатної сітки, а також шляхом порівняння з даними інших авторів [8], що підтвердило задовільну точність. Модель реалізована на мові програмування C++, визначені оптимальні параметри налаштування моделі: проведено вибір кванта відстані, кванта часу та початкових умов. Оптимальним можна вважати значення кванта часу Δt на рівні 0,01 години, або 36 секунд; при завданні кількості вузлів в окремому шарі на рівні $n_j \geq 15$ можна досягти помірних похибок розрахунків при обґрунтованих витратах часу на їх проведення.

Вибір початкових умов розрахунків. Розподіл зовнішньої температури циклічно повторювався щодоби. Попередньо як початкова умова приймався стаціонарний розподіл температури в вузлах огороження при стартовому значенні зовнішньої температури. Встановлено наявність зростання середньодобового значення температури в приміщенні протягом визначеного часу, після чого процес зростання припинявся. Рис.2 демонструє цей процес протягом 1, 4, 10 та 18 діб розрахунків. Процес стабілізації температури для ізольованого приміщення потребує більшого часу, що пояснюється більшою інерційністю стін (рис. 3). На тепловий стан впливають і акумулюючі властивості внутрішніх стін. Оскільки зовнішня температура коливається навколо середньодобового значення, було прийнято рішення щодо використання цієї величини як початкової для стаціонарного розрахунку. Таким чином, вдалося скоротити процес стабілізації середньодобового значення внутрішньої температури з 10...18 до 2..5 діб, що дало можливість отримувати доволі точні результати при прийнятних затратах часу.

Розроблену модель можна застосовувати для: діагностики температурно-теплових режимів в приміщеннях різних типів протягом доби з урахуванням впливу різних параметрів; визначення тепловтрат з метою вжиття заходів щодо їх зниження; прогнозування теплоспоживання існуючих будівель та необхідної потужності опалення для будівель, що проектується; визначення амплітуди коливань температур внутрішнього повітря та зовнішньої стіни зі сторони приміщення для нестационарних умов для оцінки теплостійкості конструкцій.

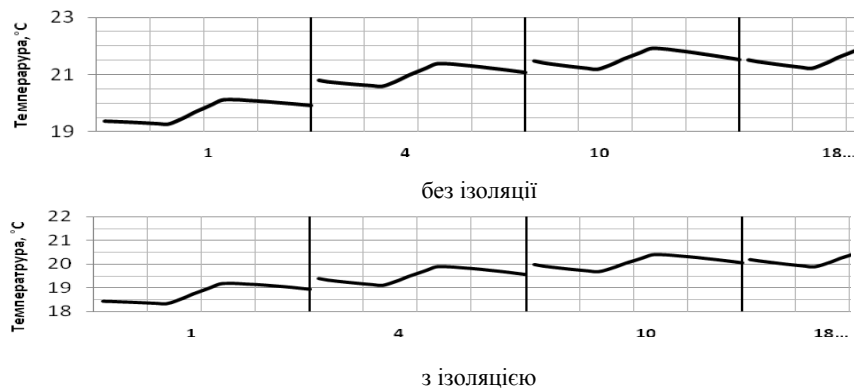


Рис. 2. Зростання температури повітря приміщення

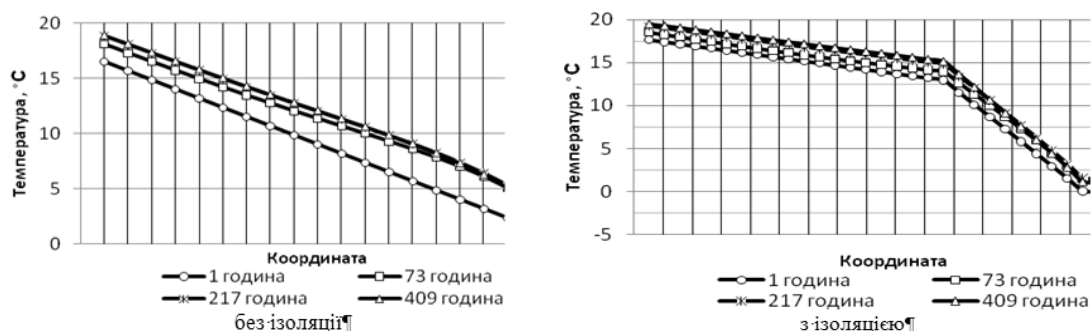


Рис. 3. Профіль температури в зовнішній стіні

Тепловий баланс приміщення

Проаналізуємо вплив на тепловий стан приміщення додаткових теплонадходжень та сонячної інсоляції. Інтенсивність побутових теплонадходжень приміщення (від приладів та людей) протягом доби була задана графіком, наведеним на рис. 4 (адміністративна будівля).

Результати розрахунків тепловтрат по складових теплового балансу наведено на рис.5. Слід відмітити, що порівняльний аналіз кількісних величин балансу не проводиться, оскільки розрахунки ведуться для різної температури теплоносія. Добова зміна надходжень впливає на всі складові балансу, що призводить до підвищення тепловтрат вдень через підвищення внутрішньої температури.

Аналогічно можна проаналізувати вплив надходжень від сонця.

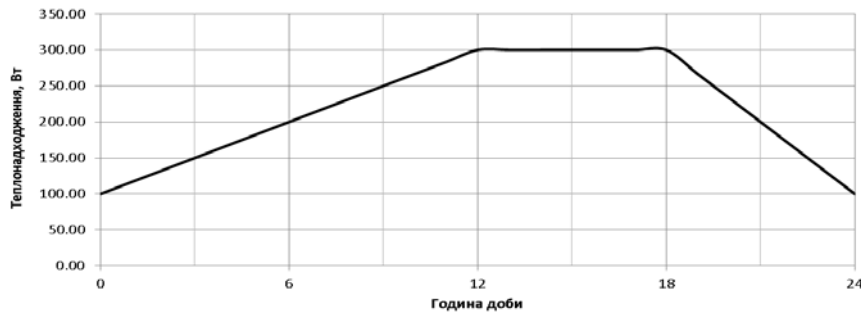
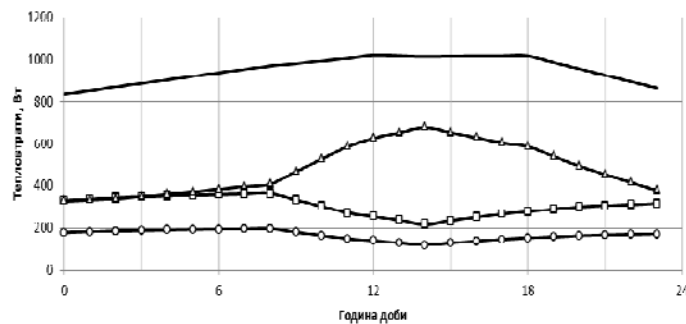
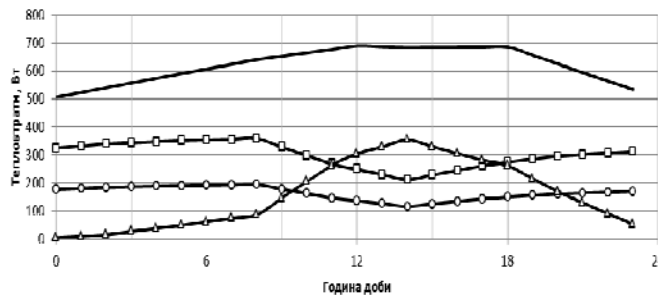


Рис. 4. Інтенсивність теплонадходжень протягом доби



а) неізольоване приміщення



б) ізольоване приміщення

—□— Вікно —▬— Вентиляція —△— Стіни —■— Загалом

Рис. 5. Тепловтрати по складових теплового балансу

Сонячна радіація має інші механізми впливу на тепловий стан приміщення. Зокрема, радіація потрапляє до приміщення через світлові отвори, після чого нагріває внутрішні огорожувальні конструкції, а ті, в свою чергу, нагрівають внутрішнє повітря; крім того, сонячний потік нагріває зовнішні шари огороження (рис.6), які, в свою чергу, більше віддають теплоти зовнішньому повітрю, яке має нижчу температуру, аніж проводить її усередину огороження. Тобто більшість радіації, що потрапляє на стіну – повертається у навколишнє середовище, причому для ізольованої стіни цей ефект має більшу інтенсивність, оскільки низька теплопровідність зменшує кількість теплоти, що проникає у приміщення. Для громадських будівель потрібно оцінювати вплив обох факторів.

В результаті моделювання встановлено, що під дією коливання зовнішньої температури протягом доби близько 11 °С температура приміщення змінюється менше ніж на 1 °С при постійній витраті та температурі теплоносія. Але якщо враховувати інші фактори, то коливання внутрішньої температури вже більш значні. Зокрема, завдяки додатковим тепловиділенням

температура досліджуваного приміщення може збільшитися на 3°C, а враховуючи ще й сонячну інсоляцію, що проникає через вікно та нагріває зовнішню поверхню стіни – на 4°C. При цьому зміна температури зовнішньої поверхні стіни досягає 16°C.

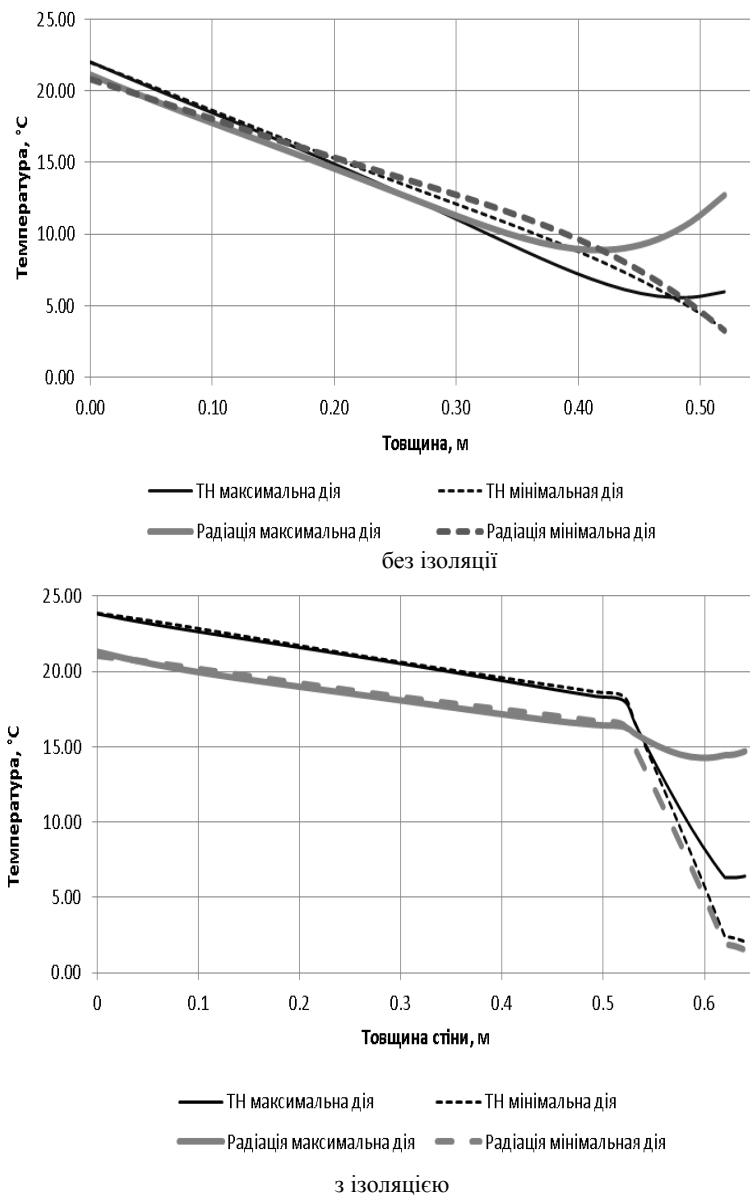


Рис. 6. Профіль температури зовнішньої стіни

Тобто, враховуючи акумуляційну властивість будівлі, вплив коливань зовнішньої температури порівняно зі стаціонарним розрахунком зменшується, зростає роль інших факторів – тепловиділень та інсоляції. Крім того, для громадських будівель максимальна інтенсивність сонячної радіації збігається з піком додаткових тепловиділень, тобто при введенні регулювання теплового потоку від опалювального приладу в цих будівлях будемо мати більший ефект, ніж для житлових, для яких в денний період тепловиділення відсутні.

Проведені російськими дослідниками [9] виміри на реальних об'єктах (житлові будівлі) свідчать, що після додаткових утеплюючих заходів якість тепlopостачання не можна оцінювати по внутрішній температурі, оскільки мешканці починають її регулювати за допомогою відкриття вікон. Тому при регулюванні в тепlopунктах потрібно задавати графік подачі теплоти на опалення з корекцією на побутові тепловиділення та сонячну інсоляцію.

Дослідження витрат теплоти на інфільтрацію. Математична модель дозволяє враховувати повітрообмін в приміщеннях через кратність або розрахункову різницю тиску на поверхні вікон

[10, 11]. Далі буде показано відмінність двох методів розрахунку.

Розрахунки проведено для 5-ти та 9-поверхової будівлі (рис.7). Висота поверху 2,72 м. Опір повітропроникності для нових і старих вікон відповідно 0,18 та 0,09 м²·год·Па/кг. Швидкість вітру: 2,2м/с–осінь і 4,3м/с–зіма. Перепад тисків в значній мірі залежить і від поверху, де знаходиться приміщення. З метою дослідження тепловтрат на вентиляцію на різних поверхах приміщення, при обрахунках температура всередині приймалася на рівні 18°C, ззовні 2,9°C.

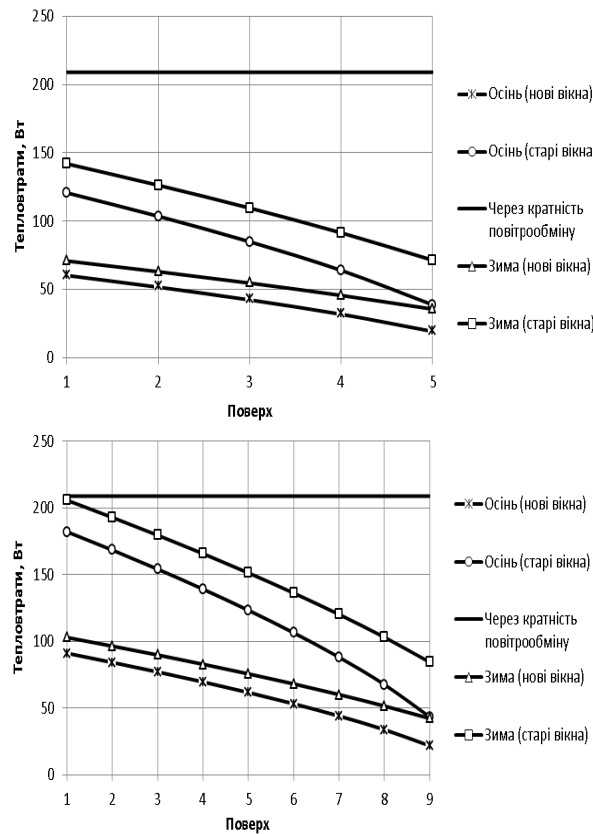


Рис. 7. Тепловтрати на інфільтрацію на різних поверхах:
а) для п'ятиповерхової будівлі; б) для дев'ятиповерхової будівлі

Як бачимо, результати обчислень інфільтраційної складової тепловтрат за двома методиками лише при збільшенні висоти будівлі для перших поверхів зі старими вікнами схожі, в інших випадках вони значно різняться. Проте діючі санітарні норми для житлових будівель передбачають вимоги до повітрообміну щодо нормативної кратності на рівні не менше 0,8 год⁻¹, а розрахунки за методикою [11] призводять до значної відхилен в результатах. Так, для приміщення на 4 поверсі 5-поверхової будівлі, тепловтрати через кратність повітрообміну були більшими, ніж тепловтрати через різницю тисків з новими вікнами в 4,5 рази восени та 3,7 рази взимку, що призводить до помилки у визначенні внутрішньої температури близько 4°C.

Далі розглянемо зміну величини інфільтраційної складової тепловтрат протягом доби. Розглядалися два періоди – осінь та зима (рис.8). Максимальна із середніх швидкостей приймалася для м.Києва 2,15 м/с (осінь) та 4,3 м/с (зіма).

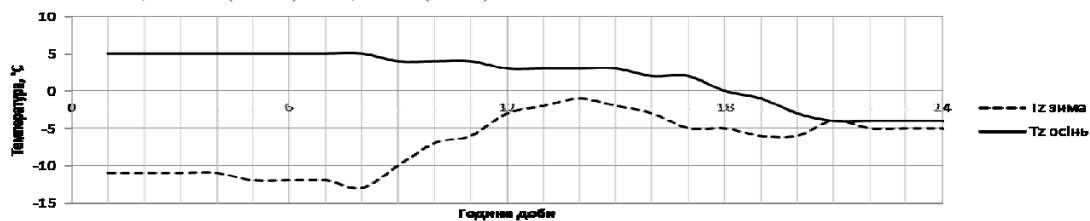


Рис.8. Температура зовнішнього повітря

Результати моделювання наведені на рис. 9. Отримані результати вказують на обернено пропорційну залежність втрат через вентиляцію від значення зовнішньої температури. Тепловтрати, пораховані через кратність теплообміну, мають найбільше значення в обох випадках, тоді як втрати, обчислені через різницю тисків для нових вікон – найменше.

Зменшення з часом опору повітропроникності вікон, внаслідок їх старіння, призводить до збільшення кількості повітря, що просочується в навколишнє середовище, а отже і до збільшення тепловтрат на інфільтрацію. В нашому випадку зменшення опору в два рази призвело до збільшення втрат лише в 1,8 разу. Ця невідповідність викликана залежністю тепловтрат на вентиляцію не тільки від зовнішньої температури, але і від внутрішньої, яка, в свою чергу, встановлюється з загального теплового балансу.

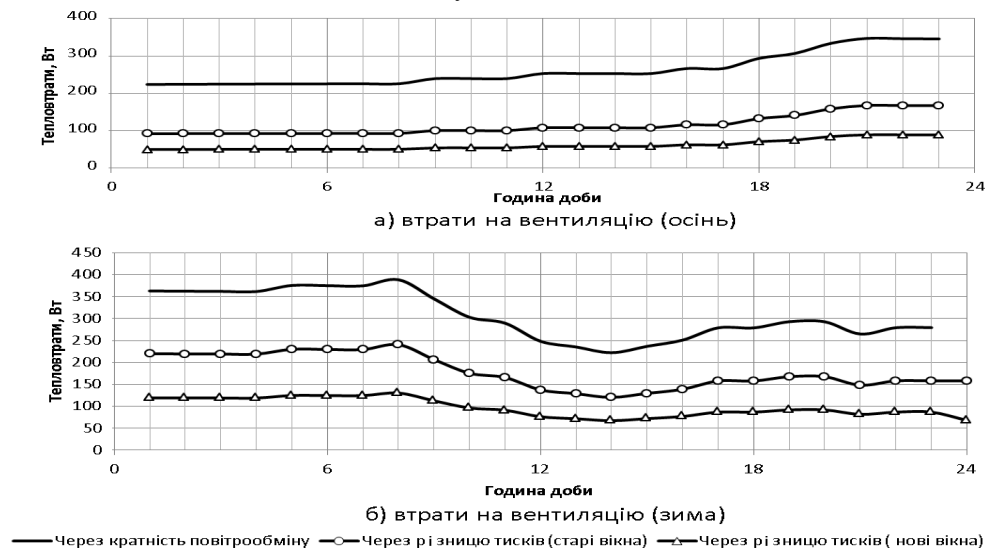


Рис. 9. Втрати на вентиляцію на прикладі 5-поверхової будівлі

Висновки

1. Розроблено модель, яка дозволяє отримувати значення тепловтрат різних типів приміщень, складових теплового балансу, температурних полів в огороженнях, теплових потоків на поверхнях конструкцій.
2. Із зростанням вимог щодо теплового захисту будівель підсилюється роль таких складових теплового балансу як побутові надходження, сонячна інсоляція та витрати теплоти на інфільтрацію.
3. Метод визначення тепловтрат на інфільтрацію вносить вагомі відмінності в результати.
4. Модель дозволить проводити аналіз шляхів зниження тепловтрат та оцінювати тепловий стан і дотримання комфортних умов приміщень після проведення термомодернізації огорожувальних конструкцій.

Література

1. Богословский В.Н. Тепловой режим здания. – М.: Стройиздат. – 1979 – 248с.
2. Кочев А.Г., Макаревич С.А. Расчет температурного режима ограждающих конструкций уникальных сооружений методом мелких шагов. // Известия ВУЗов. Строительство. – № 4. – 1994. – С. 61–62.
3. Меркушов В.Т. Совершенствование методики расчета теплотерь зданиям // Сб. научн. трудов. Материаловедение, строительство и отраслевое машиностроение. – Вып. 8, ч.2. – Днепропетровск: ПГАСА. – 1999. – С. 57–62.
4. С.В. Корниенко. Конечно-разностное решение пространственной задачи нестационарного теплового переноса в ограждающих конструкциях зданий – Волгоград: ВГАСА – 1998. – 23 с.
5. Тимахова Н.С. Анализ теплового режима квартир жилого дома. // Материалы научно-технической конференции. – Владимир. – 2001. – С. 188–190.
6. Г.С. Иванов, А.Н. Дмитриев. Проблема энергосбережения в зданиях в теплофизическом и экономическом аспектах технического нормирования. // Промышленное и гражданское строительство. – 1998. – № 10. – С. 19–23.

7. В.И. Дешко, М.М. Шовкалюк, А. В. Ленкин Моделирование теплового состояния помещений при изменении режимных параметров отопления // Промышленная теплотехника. Т.31 – 2009. – № 6. – С.75–80.
8. Тадля О.Ю., Круковский Л.В., Декуша Л.В. Экспериментальное исследование теплового режима типовой двухкомнатной квартиры в отопительный период // Тезисы IV междунар. конф. «Проблемы промышленной теплотехники – К.: ИТТФ НАНУ. – 2005. – С.364–365.
9. В.И. Ливчак Энергоаудит и энергетическая паспортизация жилых зданий – путь стимулирования энергосбережения / АВОК – 2002. – № 6 – С.15–20.
10. Р. В. Щекин, С. М. Корневский, Г. Е. Бем, Ф. И. Скороходько. Справочник по теплоснабжению и вентиляции – К.: Будівельник. – 1976. – 416с.
11. ДБН В.2.6– 31:2006. Теплова ізоляція будівель.