

блок прошел успешную апробацию, показана его работоспособность в электрических цепях несинусоидального переменного тока.

Список литературы

1. Мельников Н.А. Реактивная мощность в электрических сетях. М.: Энергия, 1975.
2. Маевский О.А. Энергетические показатели вентиляльных преобразователей. - М.: Энергия, 1978.
3. Савиновский Ю.А., Королев С.Я., Стратонов А.В. К интегральному понятию «реактивная мощность». Изв. вузов. Энергетика. 1981, №7, с. 55-57.
4. Демирчян К.С. Реактивная или обменная мощность. Изв. АН СССР Энергетика и транспорт. 1984, №2.
5. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. М.:Л.: Госэнергоиздат, 1963.
6. Копылов И.П. К определению динамических энергетических показателей при несинусоидальном и несимметричном напряжении / Изв. АН Энергетика. 2001, №2.
7. Фархадзаде Э.М., Гулиев Г.Б. Расчет показателей несинусоидального режима узла нагрузки. Электричество. 2002, №8.
8. Агунов М.В., Агунов А.В., Вербова Н.М. Новый подход к измерению электрической мощности. - Промышленная энергетика. 2004. №2, с.30-33.

Рукопись поступила в редакцию 12.03.12

УДК 697.112.2.001.57

О.А. ЛОГИНОВ, аспирант, В.П. ЩОКІН, д-р техн. наук, доц.
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ В ПРИМІЩЕННІ

Проаналізовано вплив конструктивних особливостей приміщень на їх температурний стан, побудовано математичну модель, що характеризує зміну температури повітря в приміщенні під впливом різних збурень

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. Опалюваний об'єкт являє собою складну архітектурно-конструктивну систему з різноманітним її енергетично взаємопов'язаних елементів: огороження, вікна, нагрівальні прилади, обладнання приміщень, повітряна середа (зовнішня та внутрішня), побутові та виробничі теплонадходження.

Зовнішні огорожувальні конструкції захищають приміщення від несприятливих впливів клімату, спеціальні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря підтримують в приміщенні протягом всього року певні параметри внутрішньої середи. Сукупність всіх інженерних засобів та приладів, що забезпечують заданий тепловий режим в приміщеннях будівлі, є системою кліматизації будівлі.

Головним завданням створення в приміщеннях будівлі певного теплового режиму є організація взаємодіючих та взаємопов'язаних теплових потоків в складній архітектурно-конструктивній системі з різноманітним елементів огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, кожний з яких є енергоносієм та передавачем енергії. Принциповою особливістю цієї системи є та обставина, що будівля з системою опалення як єдина енергетична система являє собою не лише підсумовування цих елементів, але й особливе їх поєднання, що надає всій системі в цілому нові якості, отримані в результаті суперпозиційних підходів.

Динамічні властивості опалення приміщень визначаються наступними конструктивними особливостями:

- розміщення приміщень (квартир) в будівлі;
- спосіб вентиляції приміщень;
- геометрія приміщень;
- коефіцієнт повітропроникності вікон;
- геометричні розміри та теплофізичні параметри огорожувальних конструкцій.

Обґрунтування вибору типу системи кліматизації будівлі має за мету мінімізувати витрати енергії на створення необхідного теплового режиму. Вибір типу системи кліматизації є результатом вирішення завдання оптимального керування, тобто знаходження такого керування витратами енергії, що витрачається на теплопостачання будівлі або приміщення, яке б задовольняло рівнянню теплового балансу приміщення з відповідними обмеженнями і для якого виконується умова .

При використанні систем регулювання подачі тепла, які засновані на керуванні за даними про температуру теплоносія в зворотному трубопроводі, може спостерігатись значна невідповідність очікуваної та фактичної температури повітря в приміщенні. Тому необхідною є по-

будова такої моделі теплового балансу, щоб була прогнозована фактична величина температури повітря в приміщенні при обґрунтованому виборі значень факторів керування подачею тепла.

Аналіз досліджень та публікацій. Розробка системи оптимізації теплоспоживання, заснована на математичному моделюванні теплового балансу, полягає в наступному [1]. Інформація від температурних датчиків $t_{вн.}, t_{з.}$ надходить до мікропроцесору теплорегулятора, в якому задається необхідна температура внутрішнього повітря $[t_{вн.}]$. Відхилення твн. від заданого значення $[t_{вн.}]$ призводить до зміни витрат мережевої води через клапан радіатора. Такий спосіб регулювання дозволяє видалити труднощі з вибором приміщень для здійснення кореляції температурного графіку тепломережі. Тим самим вирішується задача оптимальних витрат теплової енергії споживача.

Робота системи автоматичного керування системою кліматизації та обліку тепlopостачання будівлі будується на математичному моделюванні теплового балансу з урахуванням фактичного енергетичного впливу зовнішнього клімату та внутрішніх тепловиділень. Математична модель являє собою систему рівнянь теплового балансу, що описує повітрообмін, внутрішні надходження тепла (наприклад, від людей в будівлі, джерел освітлення та ін.), зовнішні кліматичні впливи, втрати тепла

через зовнішні огорожі за рахунок теплопровідності та шляхом фільтрації зовнішнього повітря, тепломісту внутрішнього обладнання та внутрішніх конструкцій, процеси теплообміну в калориферах.

Підвищення адекватності математичної моделі керування тепловим режимом можливе при її перетворенні в модель, що самонавчається. Поставлена мета досягається тим, що автоматизована система містить імітатор датчиків показників зовнішнього клімату. В початковий період експлуатації системи час між циклами керування використовується для самонавчання системи і замість реальних датчиків зовнішніх метеорологічних умов використовується імітатор датчиків зовнішніх метеорологічних умов. Робота системи під час навчання відбувається так само, як і під час процесу керування, лише з тією різницею, що вхідну інформацію система отримує від імітатора датчиків зовнішніх метеорологічних умов, а вихідну передає програмі, що моделює формування мікроклімату. Після того, як на черговій математичній моделі формування мікроклімату навчання закінчується, вводиться більш складна математична модель формування мікроклімату та система, використовуючи накопичений досвід, навчається на цій моделі. Як тільки система починає достатньо швидко переходити від однієї математичної моделі формування мікроклімату до іншої, процес навчання на моделях закінчується і система переводиться в режим навчання на реальному об'єкті.

Викладення матеріалу та результати. Як відомо [1], при достатньо точному розрахунку фактичної температури повітря в опалюваних приміщеннях можливе визначення відносних витрат тепла на опалення на тепловому ввіді в будівлю, а також кількісне коректування теплових режимів будівлі, що відображено в моделі

$$t_n = 0,5(t_1 + t_2) - (a - \frac{b}{G})[(t_1 - t_2)G]^m, \quad (1)$$

де a, b, m - коефіцієнти, значення яких є індивідуальними для кожної системи; t_n - температура повітря в досліджуваному приміщенні, °С; t_1, t_2 - температури теплоносія в прямому та зворотному трубопроводах відповідно, °С; G - витрати теплоносія, т/год.

Дана модель інтерпретована в якості моделі теплового стану приміщення. При заміні в ній значень температур теплоносія та його витрат, можна отримати структурну модель вигляду

$$\hat{t}_n(\tau) = 0,5(\hat{T}_{np}(\tau) + \hat{T}_{зв}(\tau)) - (\beta_1 - \frac{\beta_2}{\hat{G}_{np}(\tau)})[(\hat{T}_{np}(\tau) - \hat{T}_{зв}(\tau))\hat{G}_{np}(\tau)]^{\beta_3}, \quad (2)$$

де $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - параметри моделі, отримані на основі експериментальних даних; $\hat{t}_n(\tau)$ - оцінка температури повітря в досліджуваному приміщенні в момент часу τ ; $\hat{T}_{np}(\tau)$, $\hat{T}_{зв}(\tau)$ - оцінки температур теплоносія в прямому та зворотному трубопроводах відповідно; $\hat{G}_{np}(\tau)$ - оцінка витрат теплоносія в прямому трубопроводі.

При наявності ідентифікованої моделі, оцінок температур теплоносія в прямому та зворотному трубопроводах та витрат теплоносія в прямому трубопроводі, можна отримати прогноз середньої температури повітря в приміщенні (рис. 1).

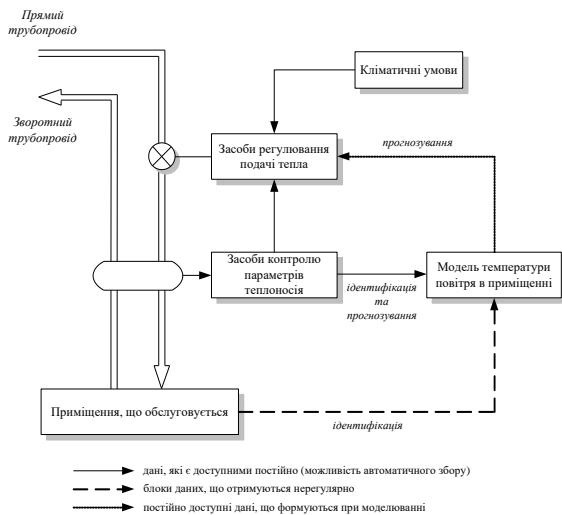


Рис. 1. Схема використання моделі температури повітря в приміщенні

Проаналізувавши систему тепlopостачання об'єкту та структуру розподілу теплоенергії, зроблено висновок про необхідність побудови наступних моделей, необхідних для опису теплового стану приміщення:

- модель середньої температури теплоносія в прямому трубопроводі;
- модель середньої температури теплоносія в зворотному трубопроводі;
- модель середніх витрат теплоносія в прямому трубопроводі.

Тому побудова структурної моделі (2) ускладнюється необхідністю розробки трьох додаткових моделей, що може призвести до отримання результату, який має досить велику похибку.

Для опису статичних та динамічних характеристик приміщення застосовують методи [1], в яких використовуються рівняння теплового балансу на основі середніх значень вхідних та вихідних параметрів. Температурний режим опалюваних приміщень формується в результаті сукупного впливу метеорологічних умов, побутових тепловиділень та теплонадходжень від опалюваних приладів.

Витрати тепла на опалення окремого приміщення або будівлі визначаються з виразу

$$Q_{оп} = 1,1(Q_{зо} + Q_в - Q_{от}), \tag{3}$$

де 1,1 - коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тепла в місцевій системі опалення [2]; $Q_{зо} = (1 + \mu)q_0'V(t_{вн} - t_{зовн})$ - втрати тепла через зовнішні огорожувальні поверхні будівлі з урахуванням інфільтраційних втрат; $Q_в = q_вV(t_{вн} - t_{зовн})$ - кількість тепла, необхідного для підігріву вентиляційного повітря; $Q_{от} = 20,8V/h$ - внутрішні тепловиділення відповідно до [3].

Математичні процеси теплопередачі описуються рівнянням Фур'є

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} \tag{4}$$

Після застосування перетворення Лапласу та підстановки значень всіх параметрів [1], отримуємо результуючий вираз, що характеризує зміну температури повітря в приміщенні під впливом різних збурень:

$$\begin{aligned} \Delta t_{вн}(p) = & K_0(p) \{ \Delta Q_{оп}(p) + \Delta Q_в^{inc}(p) + \Delta Q_{поб}(p) + [\alpha_в F_{зовн} K_2(p) + \alpha_в F_{ок} K_2(p) + K_ф F_ф + \\ & + F_ф (t_{вн} - t_{зовн})_0 \left(\frac{\partial K_ф}{\partial t_{зовн}} \right)_0] \Delta t_{зовн}(p) + [\alpha_в F_{зовн} K_3(p) + \alpha_в F_{ок} K_3(p) + K_ф F_ф + \\ & + F_ф (t_{вн} - t_{зовн})_0 \left(\frac{\partial K_ф}{\partial \omega} \right)_0] \Delta \omega + [\alpha_в F_{зовн} K_4(p) + (1 - \rho_{вн}) \epsilon F_{ок} + \alpha_в F_в^{inc} K_5(p)] \Delta I(p) \} \end{aligned} \tag{5}$$

Дана модель має універсальний характер та може використовуватись для приміщень з довільним плануванням.

Передаточна функція приміщення $K_0(p)$ характеризує закон зміни температури повітря в приміщенні в залежності від кількості тепла, що надходить (або втрачається).

У даному дослідженні вплив опалювального приладу розглянуто у вигляді каналу зв'язку, що характеризує закон зміни температури в приміщенні залежно від кількості тепла, що виділяється опалювальним приладом. Це дає можливість довільно задавати закон зміни $Q_{оп}(\tau)$ при дослідженні впливу конструктивних особливостей приміщення на динамічні властивості обігріву приміщень.

Найбільш доцільним методом апроксимації отриманих передаточних функцій є розклад гіперболічних функцій $sh x$, $ch x$, $th x$ у степеневий ряд. При цьому порівняння амплітудно-фазових характеристик точної та апроксимуючих передаточних функцій огорожувальних конструкцій дозволяє виявити, що необхідними та достатніми числами членів ряду розкладу для $sh x$ та $th x$ є три перші члени ряду, а для $ch x$ - чотири.

У результаті апроксимації вирази $F(p)$ та $P(p)$ в передаточних функціях $K_1(p)$ - $K_{12}(p)$ приймають вигляд

$$\begin{aligned} F(p) &= Ap^3 + Bp^2 + Cp + D \\ P(p) &= Kp^2 + Lp + M \end{aligned} \quad (6)$$

Характерною особливістю сучасних будівель є широкий діапазон їх конструкцій та режимів роботи. У зв'язку з цим необхідно дослідити вплив конструктивних та режимних параметрів на динамічні властивості обігріву приміщень. Динамічні властивості опалення одного і того ж приміщення (квартири) суттєво змінюються протягом опалювального сезону. При переході від режиму максимального теплового навантаження (відповідно до ТОГ 95/70) з показниками $t_{зовн} = -26$ °C, $v = 10$ м/с до режиму мінімального теплового навантаження ($t_{зовн} = 10$ °C, $v = 0$ м/с), величина коефіцієнту передачі збільшується приблизно в 2 рази, а постійна часу - в 1,87 рази [1].

В загальному випадку протягом опалювального сезону можлива практично необмежена кількість комбінацій різних температур зовнішнього повітря та швидкостей вітру, що ускладнює вибір величин α_n та K_ϕ , що входять в передаточні функції. Але, слід зазначити, що існує пряма кореляційна залежність між температурою зовнішнього повітря та швидкістю вітру.

Для районів середньої широти, до яких відноситься і Україна, ця залежність має вигляд

$$v = 0,092t_{зовн} + 5,37 \quad (7)$$

Цей вираз дозволяє однозначно визначити початкові метеорологічні умови, які закладено в передаточні функції.

Висновки та напрям подальших досліджень. Аналіз перехідних процесів в будівлях різних типів свідчить [1], що визначний вплив на динамічні властивості обігріву приміщень створює теплоакumuлююча властивість внутрішніх огорожувальних конструкцій. Зневажання теплоінерційними властивостями внутрішніх огорожувальних конструкцій призводить до зменшення величини постійної часу на 95%, в той час як зневажання теплоінерційними властивостями зовнішніх теплоємних огорожень змінює величину постійної часу лише на 10%.

Отже, дослідження по визначенню впливу конструктивних особливостей квартир на їх динамічні властивості опалення свідчать, що величина постійної часу досить сильно залежить від розміщення квартир в будівлі, коефіцієнту повітропроникності вікон, відношення площі зовнішніх огорожень до площі внутрішніх огорожень. Слід зазначити, що сучасні житлові будівлі характеризуються незначним впливом теплоакumuлюючої властивості огорожень на швидкість зміни температури повітря в приміщенні. По мірі збільшення відношення площі зовнішніх теплоємних огорожень до площі внутрішніх огорожень, ступінь впливу зовнішніх огорожувальних конструкцій збільшується та стає визначною.

Список літератури

1. Чистович С.А. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления / Чистович С.А., Аверьянов В.К., Темпель Ю.Я., Быков С.И. – Л.: Стройиздат, 1987. – 248 с.
2. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинні від 2006-04-01]. – К.: Держбуд України, 2006. – 30с.
3. Державні будівельні норми України. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення: ДБН В.2.2-15-2005. – [Чинні від 2006-01-01]. – К.: Держбуд України, 2006. – 36с.

Рукопись поступила в редакцию 19.04.12

УДК 622.241: 004.62: 658.562