

## РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОПАЛЕННЯ ЗАМІСЬКИХ БУДИНКІВ

**Г. О. Димова, О. В. Ларченко**

Херсонський державний аграрно-економічний університет  
вул. Стрітенська, 23, м. Херсон, 73006, Україна. E-mail: anndymova@gmail.com

В роботі, для підтримки стабільної температури повітря, що є однією з найважливіших складових комфорту в приміщеннях, де проживає або працює людина, проведено дослідження залежності зміни температури в приміщенні від зміни температури навколишнього середовища при використанні опалювального обладнання. Розроблено математичну модель для розрахунку режиму роботи опалювального обладнання для підтримання заданої температури в приміщенні, яку забезпечують термостати або термодатчики, завдяки тому, що вони постійно відстежують зміни температури зовні і дозволяють опалювальній системі враховувати всі поточні фактори, що впливають на температуру в приміщенні. Розроблено програму для розрахунку оптимального режиму роботи опалювального обладнання в залежності від мінімальної та максимальної температур навколишнього середовища, заданої температури в приміщенні, площі взаємодії приміщення з навколишнім середовищем, об'єму приміщення. Це робиться для того, якщо людина в будинку проживає не постійно, а використовує його для відпочинку в будь-який період року, щоб затрати електроенергії при цьому були мінімальними. При дослідженні процесу теплопередачі виявлено, що процес є інерційним явищем, який вимагає певного часу для свого здійснення. Це приводить до зміщення фаз між коливаннями температур в приміщенні та за його межами і меншому значенню коливань температури внутрішнього повітря. Створена програма дозволить забезпечити відчутну економію енерговитрат.

**Ключові слова:** температуропровідність, потужність, температура, коливання, експеримент, опалювач, приміщення, Delphi, програма.

## РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИИ ОТОПЛЕНИЯ ЗАГОРОДНЫХ ДОМОВ

**А. О. Дымова, О. В. Ларченко**

Херсонский государственный аграрно-экономический университет  
ул. Сретенская, 23, г. Херсон, 73006, Украина. E-mail: anndymova@gmail.com

В работе, для поддержания стабильной температуры воздуха, которая является одной из важнейших составляющих комфорта в помещениях, где проживает или работает человек, проведено исследование зависимости изменения температуры в помещении от изменения температуры окружающей среды при использовании отопительного оборудования. Разработана математическая модель для расчета режима работы отопительного оборудования для поддержания заданной температуры в помещении, которую обеспечивают термостаты или термодатчики, благодаря тому, что они постоянно отслеживают изменения температуры снаружи и позволяют отопительной системе учитывать все текущие факторы, влияющие на температуру в помещении. Разработана программа для расчета оптимального режима работы отопительного оборудования в зависимости от минимальной и максимальной температур окружающей среды, заданной температуры в помещении, площади взаимодействия помещения с окружающей средой, объема помещения. Это делается для того, если человек в доме проживает не постоянно, а использует его для отдыха в любое время года, чтобы затраты электроэнергии при этом были минимальными. При исследовании процесса теплопередачи выявлено, что процесс является инерционным явлением, которое требует определенного времени для своего осуществления. Это приводит к смещению фаз между колебаниями температур в помещении и за его пределами и меньшему значению колебаний температуры внутреннего воздуха. Созданная программа позволит обеспечить ощутимую экономию энергозатрат.

**Ключевые слова:** температуропроводность, мощность, температура, колебания, эксперимент, отопитель, помещения, Delphi, программа.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Для сучасної людини однією з найважливіших складових комфорту в приміщеннях, де він проживає або працює, є стабільна температура повітря. Для її підтримки в сучасні кліматичні системи впроваджуються різні засоби автоматизації, які в системах опалення одночасно здатні забезпечити відчутну економію енерговитрат. Автоматизовані системи опалення покликані підтримувати в будівлях і приміщеннях мікроклімат, найбільш комфортний для роботи і відпочинку. Крім того, завдяки можливості більш раціонально витрачати енергоресурси, такі системи є набагато більш ефективними, ніж традиційні. Установку комфортної температури в приміщеннях забезпечують термостати або термодатчики, які постійно відсте-

жують її зміни і дозволяють опалювальній системі враховувати всі поточні фактори, що впливають на температуру в приміщенні: людське тепло, сонячне тепло, нагрівання від освітлювальних приладів, впромінювання інших електроприладів та ін.

Процес теплопередачі – це інерційне явище, що вимагає певного часу для свого здійснення. Це приводить до зміщення фаз між осциляціями (коливаннями) температур в приміщенні та за його межами і меншому значенню осциляцій температури внутрішнього повітря [1]. Дійсно, без опалення всім процесом керують коливання температури зовнішнього повітря. Нехай в деякий момент часу його температура вища за температуру внутрішнього повітря. При цьому внутрішнє повітря буде нагріватися. Так

буде відбуватись весь час, поки температура зовнішнього повітря вища, а також коли він почне охолоджуватись. Таким чином, існує проміжок часу, коли зовнішнє повітря охолоджується, а внутрішнє – нагрівається. Потім внутрішнє повітря перестає нагріватись, коли його температура зрівнюється з температурою зовнішнього повітря, що охолоджується. Тому він не досягає тих температур, які мало до того зовнішнє повітря, що охолоджується, а значить і амплітуда коливань його температури буде меншою.

Метою роботи є створення комп'ютерної програми для контролю роботи системи обігріву житлового приміщення з можливістю розрахунку коефіцієнта температуропровідності і проведення чисельного експерименту. У відповідності з метою роботи вирішувались такі завдання: створити програмну оболонку для розрахунку потрібного теплового режиму у відповідності до площі приміщень та його взаємодії з навколишнім середовищем; створити програмний засіб для математичного моделювання процесу опалення дачного будинку в залежності від початкової температури в приміщенні та коливань температури поза приміщенням.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** За основу моделі процесів, що відбуваються, можна взяти рівняння [1, 2]:

$$U = W_{in}(t) - W_{ex}(t), \quad (1)$$

де  $U$  – внутрішня енергія приміщення, пропорційна температурі;  $W_{in}$  – теплова потужність деякого опалювача, що знаходиться у приміщенні;  $W_{ex}$  – теплова потужність, що йде з приміщення назовні, коли температура всередині приміщення вища за температуру зовні.

При опаленні приміщення:

$$\dot{U} = C\dot{T}. \quad (2)$$

Відхід тепла із приміщення зумовлений різними процесами, одним з яких є теплопровідність. Вважатимемо, що саме вона дає найбільш суттєвий вклад [3], тоді

$$W_{ex} = A(T(t) - T_{ex}(t)), \quad (3)$$

де  $A$  – коефіцієнт, пов'язаний з теплопровідністю стін, вікон і т.д.;  $T$  і  $T_{ex}$  – температура всередині приміщення і поза ним.

В результаті, вихідне диференціальне рівняння зводиться до вигляду:

$$\dot{T} = -k(T(t) - T_{ex}(t)) + \frac{W_{in}(t)}{C}, \quad (4)$$

де  $k = \frac{\lambda}{c}$  називається коефіцієнтом температуропровідності.

Якщо цікавить дослідження коливань температури на протязі декількох днів, то  $T_{ex}$  можна вважати періодичною, а в найпростішій моделі – гармонічною функцією часу з періодом 24 години. Для ви-

значеності, будемо вважати, що максимуму температура досягає о 4 годині дня, а мінімуму – о 4 годині ночі [2], тоді

$$T_{ex}(t) = T_m + T_a \cos(\omega t + \varphi), \quad (5)$$

де  $\omega = \pi/12 \text{ год}^{-1} \approx 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ;  $\varphi = -4\pi/3$ ;  $T_m$  – середня температура поза приміщенням;  $T_a$  – амплітуда коливань температури зовнішнього повітря.

Дослідимо, передусім, розв'язання у випадку, коли внутрішнє опалення відсутнє або вимкнене в початковий момент часу, тобто розв'яжемо рівняння:

$$\dot{T} = -k(T - T_m - T_a \cos(\omega t + \varphi)), \quad (6)$$

за деякої початкової умови  $T(t_0) = T_0$ . Розв'язок цього рівняння може бути отримано як аналітичними, так і численними методами. При використанні середовищ для обчислення (наприклад, MathCAD, Matlab, Maple) численний розрахунок здійснюється доволі просто [4, 5]. Однак, як це часто буває, аналітичний розв'язок повторює метод, що використовується для розрахунку кіл зі змінним струмом, і може бути корисним для закріплення цього методу.

Диференціальне рівняння (6) – це лінійне неоднорідне диференціальне рівняння першого степеня з постійними коефіцієнтами. У відповідності до стандартних методів, його розв'язки шукаємо у вигляді суми загального розв'язку  $X(t)$  однорідного рівняння [6]:

$$\dot{X} + kX = 0, \quad (7)$$

і деякого частинного розв'язку  $Y(t)$  неоднорідного рівняння. Загальний розв'язок однорідного рівняння має вигляд:

$$X(t) = A \cdot \exp(-kt), \quad (8)$$

де константу  $A$  знаходимо з початкових умов. Частинний розв'язок неоднорідного рівняння також можна знайти стандартними методами. Зміщенням функції прибирається відмінне від нуля середнє значення:

$$Y(t) = T_m + V(t), \quad (9)$$

так що функція  $V(t)$  задовольняє умові

$$\dot{V} + kV = kT_a \cos(\omega t - \varphi), \quad (10)$$

Розв'язок рівняння (10) простіше за все шукати в комплексній площині, тобто розв'язуючи рівняння

$$\dot{Z} + kZ = kT_a \exp(i(\omega t + \varphi)), \quad (11)$$

Далі можна знайти функцію  $V(t)$  як дійсну частину функції  $Z(t): V(t) = \text{Re}(Z(t))$ .

Розв'язок рівняння (9) шукаємо у вигляді  $Z = Z_0 \cdot \exp(i\omega t)$ . Підстановка цієї функції в рівняння (11) дає комплексну амплітуду [2]

$$Z_c = \frac{kT_0 \cdot \exp(i\varphi)}{i\omega + k}, \quad (12)$$

Функція  $V(t)$  має вигляд  $V(t) = V_0 \cos(\omega t - \psi)$ , де  $V_0$  – амплітуда коливань температури всередині приміщення, яка визначається як модуль комплексної амплітуди  $Z_0$ , а фаза  $\psi$  – як фаза цієї комплексної амплітуди.

Отриманий аналітичний вираз зручний для якісного аналізу. В граничному випадку  $k \gg \omega$  час встановлення стаціонарного періодичного розв'язку, який має порядок  $k^{-1}$ , набагато менше за період коливань зовнішньої температури, а після встановлення стаціонарного режиму коливання температури всередині приміщення співпадають з коливаннями зовнішньої температури за амплітудою і фазою. В іншому граничному випадку  $k \ll \omega$  встановлення коливань відбувається впродовж багатьох діб, а амплітуда коливань всередині приміщення мала по відношенню до амплітуди коливань зовнішньої температури.

Можна провести аналогію між різними фізичними задачами – цією і коливаннями в колах зі змінним струмом. Так як і в колах зі змінним струмом, існує час встановлення коливань, після якого коливання, що встановились, відбуваються з тією ж частотою, що і вимушений вплив, але зі зміщенням по фазі. Природно, що амплітуда коливань всередині приміщення менше за амплітуду коливань зовнішньої температури.

Щоб знайти дійсне значення коефіцієнта теплопровідності, можна спробувати зробити найпростіші оцінки [7]. Якщо взяти дачний будинок з одинарними рамами, то достатньо очевидно, що основний потік тепла проходить через стекла вікон. Коефіцієнт  $A$  пов'язаний з площею  $S$  і товщиною  $d$  скла співвідношенням:

$$A = \frac{\lambda S}{d}, \quad (13)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності скла.

В найгрубішому наближенні теплоємність кімнати може бути оцінена як теплоємність повітря всередині цієї кімнати:

$$C = \left(\frac{5}{2}\right) \cdot \left(\frac{V}{V_m}\right) \cdot R, \quad (14)$$

де  $R$  – газова стала;  $V$  – об'єм приміщення;  $V_m$  – об'єм одного моля газу (приблизно 20 л).

Зробимо оцінки. Коефіцієнт теплопровідності скла в системі СІ приблизно дорівнює одиниці. Припустимо, що дачний будинок має об'єм  $50 \text{ м}^3$  з площею вікон  $2 \text{ м}^2$ . Товщина стекол – 4 мм. Нескладний розрахунок дає значення  $k = 0,7 \text{ с}^{-1}$ . При цьому коефіцієнт температури в кімнаті має бути завжди рівною зовнішній температурі.

Але теплоємність кімнати визначається не тільки повітрям, що в ній знаходиться. Але якщо навіть прийняти до уваги теплоємність стін, меблів і т.д. і збільшити значення  $C$  на два порядки, значення  $k$

все рівно буде суттєво більше значення  $\omega$ . Основну затримку потоку тепла дає не скло, а шар повітря біля скла. Дійсно, відомо, що температура внутрішньої поверхні скла суттєво відрізняється від середньої температури повітря в приміщенні. Взимку, наприклад, внутрішня поверхня скла може покриватись льодом, в той час, коли в приміщенні зберігається температура, придатна для життя.

Оцінити теплозахисні властивості шару повітря значно складніше, оскільки треба приймати до уваги не тільки теплопровідність, а й конвекцію. Простіше провести порівняння розрахунку з даними досліджень. Досвід показує, що в подібних приміщеннях встановлення температури відбувається на протязі декількох годин, тобто значення  $k$  зіставне зі значенням  $\omega$ .

Повернемося до рівняння (4) і розглянемо як впливає дія опалювальних пристроїв на температуру всередині приміщення. Очевидно, що цей вплив залежить від функції  $W_{in}(t)$ . В найпростішому випадку можна ввімкнути опалювач на постійну потужність, що відповідає постійному значенню потужності  $W_0$ . Тоді рівняння (4) прийме вигляд:

$$\dot{T} = -k \left( T - T_m - T_a \cos(\omega t + \varphi) - \frac{W_0}{kC} \right). \quad (15)$$

Аналізуючи це рівняння, бачимо, що вплив опалювача при постійній потужності еквівалентно ефективному збільшенню середнього значення зовнішньої температури  $T_m$  на величину  $\frac{W_0}{kC}$ . Це означає,

що амплітуда і фаза коливань температури в приміщенні в режимі, що встановився будуть тими ж, що і без опалювача, але середнє значення температури збільшиться. Але треба обігрівати кімнату ефективніше.

Один з можливих варіантів – встановити мінімальну температуру, нижче якої температура не повинна опускатися. При постійній потужності опалювача  $W_{in}(t) = W_0$  таке мінімальне значення температури дорівнює

$$T_{\min} = T_m + \frac{W_0}{kC} - \frac{kT_a}{\sqrt{\omega^2 + k^2}}. \quad (16)$$

Виявляється, що знайти найбільш ефективну функцію  $W_{in}(t)$  при такому критерії ефективності не так складно. Така функція має вигляд

$$W_{in}(t) = kC(T_{\min} - T_m + T_a \cos(\omega t + \varphi)). \quad (17)$$

Дійсно, при підстановці цього виразу в рівняння (2) отримаємо рівняння  $\dot{T} = -k(T - T_{\min})$ . Маємо єдиний стаціонарний (з періодом  $\tau = 2\pi/\omega$ ) розв'язок цього рівняння:  $T = T_{\min}$ . Легко перевірити, що при такому виборі функції  $W_{in}(t)$  виграємо в енергії в порівнянні з опаленням при постійній потужності. Дійсно, робота електричного поля за період (споживання електроенергії за добу) в другому випадку дорівнює

$$A_2 = \int_t^{t+\tau} W_{in}(t') dt' = kC\tau(T_{\min} - T_m). \quad (18)$$

У випадку опалення з постійною потужністю отримаємо [1]:

$$A_1 = kC\tau \left( T_{\min} - T_m + \frac{kT_a}{\sqrt{\omega^2 + k^2}} \right). \quad (19)$$

Очевидно, що при будь-яких параметрах  $A_1 > A_2$ .

Можна довести, що функція виду (17) є найбільш ефективною. Дійсно, при будь-якій іншій функції часу існує часовий інтервал, за якого різниця температур всередині приміщення і поза ним більша, ніж для функції (17). Це означає, що на цьому інтервалі назовні йде більше енергії. При цьому часових інтервалів, на яких назовні йде менше енергії не існує. Значить, в цілому за період назовні буде відходити більше енергії. Але ця енергія може бути взята тільки від опалювача, який буде споживати відповідно більше енергії від мережі.

Сконструювати опалювач, потужність якого змінювалась би за гармонічним законом в наш час можливо, але доволі складно. Слід взяти до уваги, що дійсна зміна зовнішньої температури, звичайно ж, не відповідає гармонічному закону.

Зазначимо, що при виборі функції  $W_{in}(t)$  у вигляді (17) опалювач працює у протифазі зі змінами зовнішньої температури, тобто найбільша потужність досягається при найменшій зовнішній температурі. З цих міркувань виникає ідея постановки задачі: вмикати опалювач на постійну потужність на певному проміжку часу (при низькій зовнішній температурі). При цьому можна задати більшу робочу потужність, ніж при неперервному режиму роботи і зекономити на електроенергії.

При такій постановці задачі функція  $W_{in}(t)$  – періодична ступінчата функція. Рівняння (4) може бути розв'язано аналітично і при такому вигляді функції  $W_{in}(t)$ . Але, оскільки отримана в результаті розв'язання цього рівняння функція  $T(t)$  трансцендентна, дослідження її на екстремуми, тобто оптимальність опалення, може бути здійснена тільки численними методами. Тому необхідно розв'язати вихідне рівняння численними методами. Функцію  $W_{in}(t)$  при моделюванні можна задавати трьома параметрами:  $dt$  – проміжок часу роботи опалювача на протязі доби,  $t_0$  – час ввімкнення опалювача ( $dt, t_0 \in [0; 24]$ ), а також потужність під час роботи  $W_{max}$ . Цю потужність зручно виражати в градусах, використовуючи співвідношення  $W_{max}(\text{град.}) = W_{max}(\text{Вт}) / (kC)$ . Замість задання величини  $W_{max}$  можна задати деякий коефіцієнт ефективності, який визначається як відношення споживання енергії при постійно ввімкненому опалювачі до споживання енергії при ввімкненні на інтервал часу  $dt$ .

Для написання програми оптимізації опалення замських будинків використовувалася мова програмування Delphi. Delphi – інтегроване середовище

розробки програмного забезпечення для Microsoft Windows на мові Delphi (Object Pascal), створена фірмою Borland [8, 9]. Delphi дає можливість швидко створювати програмні продукти – від простих програм до професійних. Технологія роботи в середовищі Delphi засновується на ідеях об'єктно-орієнтованого і візуального програмування. Ідея об'єктно-орієнтованого програмування складається в інкапсуляції (об'єднанні) даних і способів їх обробки (методів) в один тип, який називається класом. Зміна певного класу – об'єкт. Середовище візуального програмування Delphi – це графічна автоматизована оболонка над об'єктно-орієнтованою версією мови Паскаль (Object Pascal). Якщо в Паскалі структурними одиницями є дані та команди, то в Delphi такою одиницею є візуальний об'єкт, який називається компонентом. Автоматизація програмування досягається завдяки можливості переносити компонент на форму (в програму) та змінювати його властивості, не вносячи вручну зміни в програмний код [10].

Маючи всі дані, можливо побудувати модель опалення і оптимізувати її, але один фактор досі невідомий. Це коефіцієнт температуропровідності, який залежить від площі вікон будинку, товщини скла і об'єму приміщення. Ця залежність має вигляд:

$$k = 2 \cdot \alpha \cdot S \cdot \frac{V_m}{5 \cdot d \cdot R \cdot V}, \quad (20)$$

де  $k$  – коефіцієнт температуропровідності;  $\alpha=1,15$  – коефіцієнт теплопровідності скла;  $S$  – площа вікон у домі;  $V_m$  – молярний об'єм;  $d$  – товщина скла в будинку;  $R=8,31$  – універсальна газова стала;  $V$  – об'єм приміщення.

Розрахунок коефіцієнта температуропровідності за допомогою розробленої комп'ютерної програми показано на рис. 1.

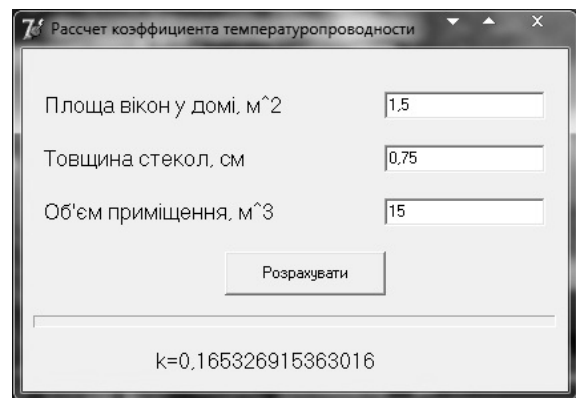


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд програми розрахунку коефіцієнта температуропровідності

Отримавши функції, необхідні для побудови графіків, і знаючи, які дані необхідні для цього – максимальна і мінімальна зовнішні температури, мінімальну необхідну внутрішню температуру, проміжки часу, на які слід вмикати опалювач та коефіцієнт температуропровідності – можна переходити до створення програми в середовищі Delphi [8].

Зчитавши потрібні для побудови графіків дані з полів та смуг прокрутки і перетворивши їх в числа,

знайдемо значення кожної з трьох функцій, побудуємо їх графіки, використовуючи стандартну процедуру AddXY. Вигляд вікна комп'ютерної програми

для проведення чисельного експерименту показано на рис. 2.

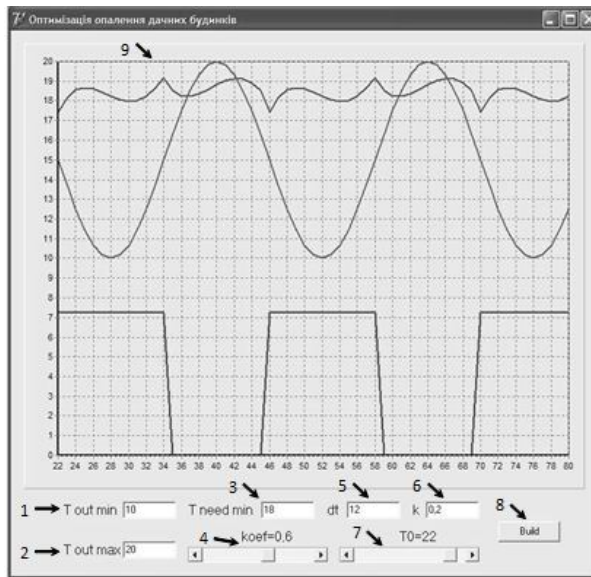


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд програми для проведення чисельного експерименту (1 – поле для введення мінімальної зовнішньої температури; 2 – поле для введення максимальної зовнішньої температури; 3 – поле для введення мінімальної необхідної температури в приміщенні; 4 – смуга прокручування для вибору значення коефіцієнта ефективності; 5 – поле для введення проміжку часу, протягом якого опалювач увімкнено; 6 – поле для введення коефіцієнта теплопровідності; 7 – смуга прокручування для вибору значення часу початку спостереження; 8 – кнопка для побудови графіків; 9 – компонент TChart для побудови графіка

Перший графік – коливання зовнішньої температури, що відбуваються за законом косинуса (21).

$$T_{ex} = \frac{T_{out\ min} + T_{out\ max}}{2} + \frac{T_{out\ max} - T_{out\ min}}{2} \cdot \cos(\omega t + \varphi), \tag{21}$$

де  $\omega = \pi/12$  год<sup>-1</sup>;  $\varphi = -4\pi/3$ ;  $T_{out\ max}$  – максимальна зовнішня температура;  $T_{out\ min}$  – мінімальна зовнішня температура.

Другий графік – потужність опалювального

пристрою. В періоди, коли він ввімкнений, потужність постійна (не залежить від часу – бачимо з формули (22)), а коли вимкнений – дорівнює нулю.

$$W_{in} = \left( T_{need\ min} - \frac{T_{out\ min} + T_{out\ max}}{2} + \frac{k \frac{T_{out\ max} - T_{out\ min}}{2}}{\sqrt{\omega^2 + k^2}} \right) * \frac{24 * koef}{dt}, \tag{22}$$

де  $T_{need\ min}$  – мінімальна температура, необхідна у приміщенні;  $T_{out\ max}$  – максимальна зовнішня температура;  $T_{out\ min}$  – мінімальна зовнішня температура;  $k$  – коефіцієнт теплопровідності;  $\omega = \pi/12$  год<sup>-1</sup>;  $koef$  – коефіцієнт ефективності;  $dt$  – проміжок часу, протягом якого працює опалювач.

Третій графік – температура в приміщенні, що встановлюється внаслідок впливу зовнішньої температури і роботи опалювача. Під час роботи опалювального пристрою, залежність температури у приміщенні від часу має вигляд (23), а коли пристрій не працює – (24).

$$T = \frac{T_{out\ min} + T_{out\ max}}{2} + \frac{k \frac{T_{out\ max} - T_{out\ min}}{2} * (k \cos(\omega t + \varphi) + \omega \sin(\omega t + \varphi))}{k^2 + \omega^2} + W_{in} - W_{in} e^{-kt+kt_0}, \tag{23}$$

$$T = \frac{T_{out\ min} + T_{out\ max}}{2} + \frac{k \frac{T_{out\ max} - T_{out\ min}}{2} * (k \cos(\omega t + \varphi) + \omega \sin(\omega t + \varphi))}{k^2 + \omega^2} + W_{in} (\exp(-kt + k(t_0 + dt)) - \exp(-kt + kt_0)), \tag{24}$$

де  $T_{out\ max}$  – максимальна зовнішня температура;  $T_{out\ min}$  – мінімальна зовнішня температура;  $k$  – коефіцієнт теплопровідності;  $\omega = \pi/12\ \text{год}^{-1}$ ;  $\varphi = -4\pi/3$ ;  $W_{in}$  – потужність опалювального пристрою;  $dt$  – проміжок часу, протягом якого працює опалювач;  $t_0$  – час початку спостереження за температурою назовні і всередині приміщення;  $t$  – час, що пройшов від початку відліку.

**ВИСНОВКИ.** Проведено дослідження залежності зміни температури в приміщенні від зміни температури навколишнього середовища при використанні опалювального обладнання.

Розроблена математична модель для розрахунку режиму роботи опалювального обладнання для підтримання заданої температури в приміщенні на прикладі дачного будинку.

Створена програма, що дозволяє розрахувати оптимальний режим роботи опалювального обладнання в залежності від мінімальної та максимальної температур навколишнього середовища, заданої температури в приміщенні, площі взаємодії приміщення з навколишнім середовищем, об'єму приміщення.

Отриманий програмний продукт має наступні переваги:

- має досить низькі системні вимоги до засобів обчислювальної техніки;
- має зручний інтерфейс, що розрахований на недосвідченого користувача;
- дозволяє задавати різні режими роботи обладнання;
- виявляє помилки введення некоректних даних (введення некоректної температури в приміщенні та ін.).

Створена програма може знайти широке застосування в системах автоматичного управління кліматом

контролем у приміщеннях, як у будинках дачного типу, так і в котеджах, приватних будинках та ін.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Зоммерфельд А. Лекции по теоретической физике: В 6 т. М.: МЦНМО, 2001. 480 с.
2. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика: В 3 т. М.: Изд. стереотип. URSS. 2018. 238 с.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. М.: Физматлит, 2005. 544 с.
4. Поршнева С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. М.: Горячая Линия – Телеком, 2011. 592 с.
5. Кирьянов Д. В. Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 528 с.
6. Димова Г. О. Методи і моделі упорядкування експериментальної інформації для ідентифікації і прогнозування стану безперервних процесів: монографія. Херсон: Книжкове видавництво ПП Вишемирський В. С., 2020. 176 с.
7. Димова Г. О. Дослідження чутливості та стійкості моделей динамічних систем. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2017. № 28-29. С. 55–59.
8. Глушаков С. В., Клевцов А. Л. Программирование в среде Delphi 7. Харьков: Фолио, 2003. 528 с.
9. Архангельский А. Я. Программирование в Delphi 7. М.: Бином-Пресс, 2003. 1152 с.
10. Иванова Г. С., Ничушкина Т. Н., Пугачев Е. К. Объектно-ориентированное программирование: Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 368 с.

#### IMPLEMENTING THE COMPUTER PROGRAM TO OPTIMIZE THE COUNTRY HOUSES HEATING

**H. Dymova, O. Larchenko**

Kherson State Agrarian and Economic University

vul. Stritenska, 23, Kherson, 73000, Ukraine. Email: anndymova@gmail.com

**Purpose.** The purpose of the work is to create a computer program to control the operation of the heating system for a dwelling with the ability to calculate the thermal diffusivity and conduct a numerical experiment. In accordance with the purpose of the work, the following tasks were solved: to create a software shell for calculating the required thermal regime in accordance with the area of the premises and its interaction with the environment; to create a software tool for mathematical modeling of the heating process of a country house, depending on the initial temperature in the room and temperature fluctuations outside the room. **Methodology.** The heat transfer process is the basis of a mathematical model for calculating the optimal operating mode of heating equipment. This process is an inertial phenomenon, and it takes a certain time for its implementation. This leads to a phase shift between the temperature fluctuations in the room and outside it and a smaller value of the room temperature fluctuations. Thermostats or temperature sensors ensure the setting of a comfortable temperature in rooms, due to the fact that they constantly monitor changes in temperature outside and allow the heating system to take into account all current factors affecting the room temperature. **Results.** The study proves the dependence between the temperature change in the room and the change in ambient temperature, when using heating equipment. A mathematical model has been developed for calculating the operating mode of heating equipment to maintain a given temperature in a room using the example of a country house. A program has been created that allows you to calculate the optimal operating mode of heating equipment, depending on the minimum and maximum ambient temperatures, the set temperature in the room, the area of interaction between the room and the environment, and the volume of the room. **Originality.** The implemented software product has the following advantages: it has rather low system requirements for computer facilities; has a user-friendly interface designed for an inexperienced user; allows you to set various modes of equipment operation; detects input errors of incorrect data (input of incorrect room temperature, etc.). The developed program provides energy savings. **Practical value.** The created program can be widely used in automatic climate control systems in rooms, both in summer cottages, country cottages, and private houses, etc.

**Key words:** thermal diffusivity, power, temperature, fluctuations, experiment, heater, rooms, Delphi, program.

## REFERENCES

1. Sommerfeld, A. (2001), *Leksii po teoreticheskoy fizike: v 6 t.* [Lectures on theoretical physics: In 6 v.], Moscow, MTsNMO, 480 p.
2. Kvasnikov, I. A. (2018), *Termodinamika i statisticheskaya fizika: V 3 t.* [Thermodynamics and statistical physics: In 3 v.], Moscow, Izd. stereotype. URSS, 238 p.
3. Sivukhin, D. V. (2005), *Obshchiy kurs fiziki* [General course of physics], Moscow, Fizmatlit, 544 p.
4. Porshnev, S. V. (2011), *Kompiuternoie modelirovaniie fizicheskikh protsessov v pakete MATLAB* [Computer modeling of physical processes in the MATLAB package], Moscow, Hot Line - Telecom, 592 p.
5. Kiryanov, D. V. (2011), *Mathcad 15/Mathcad Prime 1.0* [Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0], St. Petersburg BHV-Petersburg, 528 p.
6. Dymova, H. O. (2020), *Metody i modeli uporiadkuvannia eksperymentalnoii informatsii dlia identyfikatsii i prohnozuvannia stanu bezperervnykh protsesiv: monohrafiia* [Methods and models for compiling experimental information for identification and forecasting of the state of continuous processes: monograph], Kherson: V. S. Vyshemyrsky Book Publishing House, 176 p.
7. Dymova, H. O. (2017), "Investigation of the sensitivity and stability of models of dynamic systems", *Computer-integrated technologies: education, science, production*, iss. 28-29, pp. 55-59.
8. Glushakov, S. V., Klevtsov, A. L. (2003), *Programmirovaniie v srede Delphi 7* [Programming in the environment Delphi 7], Kharkov: Folio, 528 p.
9. Arkhangelsky, A. Ya. (2003), *Programmirovaniie v Delphi 7* [Programming in Delphi 7], Moscow, Binom-Press, 1152 p.
10. Ivanova, G. S., Nichushkina, T. N., Pugachev, E. K. (2003), *Obiektno-orientirovannoie programmirovaniie: Uchebnik dlia vuzov* [Object-oriented programming: Textbook for universities], Moscow, Publishing house of MSTU im. N. E. Bauman, 368 p.

Стаття надійшла 22.10.2020.