

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИИ ОПАЛЕНИЯ 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

Для підтримки стабільної температури повітря, що є однією з найважливіших складових комфорту в приміщеннях, де проживає або працює людина, в сучасні кліматичні системи впроваджуються різні засоби автоматизації. Ці засоби в системах опалення одночасно здатні забезпечити відчутну економію енерговитрат. Завдяки можливості більш раціонально витратити енергоресурси, автоматизовані системи є набагато більш ефективними, ніж традиційні. Термостати або термодатчики забезпечують встановлення комфортної температури в приміщеннях, завдяки тому, що вони постійно відстежують зміни температури зовні і дозволяють опалювальній системі враховувати всі поточні фактори, що впливають на температуру в приміщенні. В даній статті розглядається не постійне проживання людини в замському будинку, а використання його для відпочинку в будь-який період року. Через це виникає задача опалення дачного будинку, при чому таким чином, щоб затрати електроенергії при цьому були мінімальними. Саме тому проблема оптимізації опалення дачних будинків є актуальною. Процес теплопередачі є інерційним явищем, що 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. Об'єктом дослідження є підтримання заданої температури в побутовому приміщенні, а предметом дослідження – математичні методи та алгоритми для управління системою клімат-контролю в приміщенні. Метою роботи при цьому є створення комп'ютерної програми для контролю роботи системи обігріву житлового приміщення з можливістю розрахунку коефіцієнта температуропровідності і проведення чисельного експерименту. В роботі проведено дослідження залежності зміни температури в приміщенні від зміни температури навколишнього середовища при використанні опалювального обладнання та розроблена математична модель для розрахунку режиму роботи опалювального обладнання для підтримання заданої температури в приміщенні. Створена програма 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.

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

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ОПТИМИЗАЦИИ ОТОПЛЕНИЯ ЗАГОРОДНЫХ ДОМОВ

А. О. Димова, О. В. Ларченко

Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ул. Сретенская, 23, г. Херсон, 73006, Украина. E-mail: anndymova@gmail.com

Для поддержания стабильной температуры воздуха, которая является одной из важнейших составляющих комфорта в помещениях, где проживает или работает человек, в современные климатические системы внедряются различные средства автоматизации. Эти средства в системах отопления одновременно способны обеспечить ощутимую экономию энергозатрат. Благодаря возможности более рационально расходовать энергоресурсы, автоматизированные системы являются намного более эффективными, чем традиционные. Термостаты или термодатчики обеспечивают установку комфортной температуры в помещениях, благодаря тому, что они постоянно отслеживают изменения температуры снаружи и позволяют отопительной системе учитывать все текущие факторы, влияющие на температуру в помещении. В данной статье рассматривается не постоянное проживание человека в загородном доме, а использование его для отдыха в любое время года. Из-за этого возникает задача отопления дачного дома, причем таким образом, чтобы затраты электроэнергии при этом были минимальными. Именно поэтому проблема оптимизации отопления дачных домов актуальна. Процесс теплопередачи является инерционным явлением, 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 воздуха в помещении. Объектом исследования является поддержание заданной температуры в бытовом помещении, а предметом исследования - математические методы и алгоритмы для управления системой климат-контроля в помещении. Целью работы при этом является создание компьютерной программы для контроля работы системы обогрева жилого помещения с возможностью расчета коэффициента температуропроводности и проведения численного эксперимента. В работе проведено исследование зависимости изменения температуры в помещении от изменения температуры окружающей среды при использовании отопительного оборудования и разработана математическая модель для расчета режима работы отопительного оборудования для поддержания заданной температуры в помещении. Создана 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.

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 витратити енергоресурси, такі системи є набагато більш ефективними, ніж традиційні. Установку комфортної температури в приміщеннях забезпечують термостати або термодатчики, які постійно відстежують її зміни і дозволяють опалювальній системі враховувати всі поточні фактори, що впливають на температуру в приміщенні: людське тепло, сонячне тепло, нагрівання від освітлювальних приладів, випромінювання 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 відбуватися весь час, поки температура зовнішнього повітря вища, а також коли він почне охолоджуватися. Таким чином, існує проміжок часу, коли зовнішнє повітря охолоджується, а внутрішнє – нагрівається. Потім внутрішнє повітря перестає нагріватися, 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 теплопровідності 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 визначеності, 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 ψ – 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 λ пов'язаний з площею S і товщиною d скла співвідношенням:

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

де λ – 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 м³ з площею вікон 2 м². Товщина стекол – 4 мм. Нескладний розрахунок дає значення $k = 0,7 \text{ c}^{-1}$. При цьому коефіцієнті температура 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 ω . 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 зівставне зі значенням ω .

Повернемось до рівняння (4) і розглянемо як впливає дія опалювальних пристроїв на температуру всередині приміщення. Очевидно, що цей вплив залежить від функції $W_m(t)$. 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 інте-

рвалів, на яких назовні йде менше енергії не існує. Значить, в цілому за період назовні буде відходити більше енергії. Але ця енергія може бути взяти 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 режимі роботи і зекономити на електроенергії.

При такій постановці задачі функція $W_{in}(t)$ – періодична ступінчаста 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 професіональних. 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. Змінна 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 компо-

нент 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 теплопровідності, 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 теплопровідності; $\alpha=1,15$ – 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 теплопровідності за допомогою розробленої комп'ютерної програми показано на рис. 1.

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 теплопровідності – можна переходити до створення програми в середовищі Delphi [8].

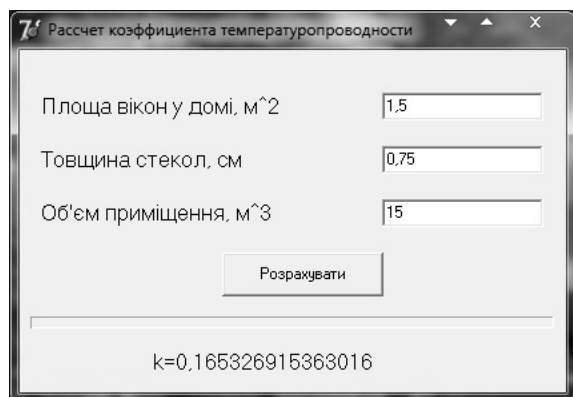


Рисунок 1 – Зовнішній вигляд програми розрахунку коефіцієнта теплопровідності

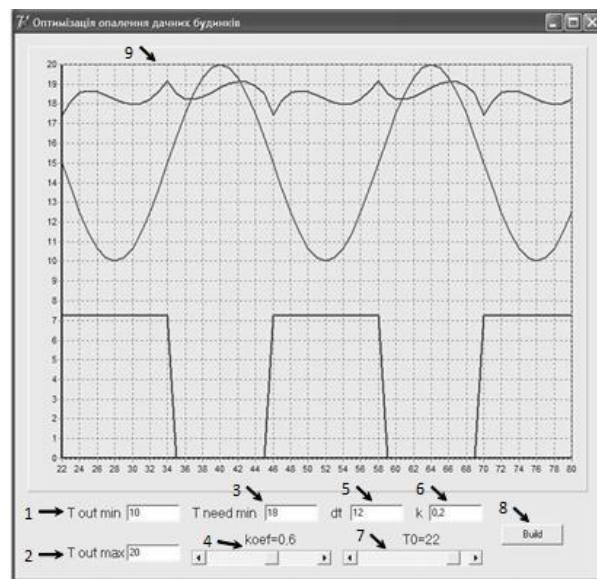
Зчитавши потрібні для побудови графіків дані з полів та смуг прокрутки і перетворивши їх в числа, знайдемо значення кожної з трьох функцій, побуду-

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

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

Другий графік – потужність опалювального

емо їх графіки, використовуючи стандартну процедуру AddXY. Вигляд вікна комп'ютерної програми для проведення чисельного експерименту показано на рис. 2.



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.

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд програми для проведення чисельного експерименту

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

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

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

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⁻¹; $koef$ – 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).

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

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

де $T_{out\ max}$ – максимальна зовнішня температура; $T_{out\ min}$ – мінімальна зовнішня температура; k – коефіцієнт теплопровідності; $\omega = \pi/12$ 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. Поршнев 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. To maintain a stable air temperature, which is one of the most important components of comfort in rooms where a person lives or works, various automation tools are being introduced into modern climate systems. These funds in heating systems are simultaneously capable for providing tangible energy savings. The object of the research is the maintenance of the set temperature in the living room, and the subject of the research is mathematical methods and algorithms for controlling the indoor climate control system. The purpose of the work is to create a computer program to control the operation of the heating system of a dwelling with the ability to calculate the thermal diffusivity and conduct a numerical experiment. **Methodology.** The heat transfer process is an inertial phenomenon, 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 of the dependence of the temperature change in the room on 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.). **Practical value.** The created program can be widely used in automatic climate control systems in rooms, both in summer cottages and in cottages, private houses, etc. References 10, figures 2.

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 prohozuvannia 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-oriietirovannoie programmirovaniie: Uchebnik dlia vuzov [Object-oriented programming: Textbook for universities]*, Moscow, Publishing house of MSTU im. N. E. Bauman, 368 p.
-