

УДК 621.316.79

**АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИЛАДОМ
ДЛЯ НАГРІВАННЯ ВОДИ****Нещерет М. М., Злотенко Б. М.**

Київський національний університет технологій та дизайну

У статті представлені графіки результатів аналітичного та експериментального визначення часу температури нагріву та охолодження води в електричному чайнику з автоматизованою системою управління температурними режимами які необхідні для заварювання різних сортів чаю. Здійснене порівняння експериментальних даних часу нагріву та охолодження води в електричному чайнику з розрахунковими. Наведена схема стенду для проведення експериментальних досліджень та її опис. Для вирішення проблеми регулювання температури нагріву води в електричному чайнику запропонована принципова електрична схема керування заданою темперою на мікроконтролері.

Ключові слова: електричний чайник, електронагрівач, початкове та кінцеве значення температури води, нагрів до заданої температури, автоматичне керування, температурні режими, кипіння, охолодження

При заварюванні різних сортів чаю, кожний з них заварюється тільки при певній температурі та певному часу витримки, інакше отриманий напій буде мати неприємний смак, та на додаток втратить свої цілющі властивості.

Нижче наведена таблиця огляду різних сортів чаю, температур та часу їх заварювання.

Таблиця 1

Огляд різних сортів чаю, температур та часу їх заварювання

Сорт чаю	Температура заварювання	Час заварювання
Чорний	90-95 ° C	3-5 хв.
Червоний	90-95° C	30с.-3 хв.
Зелений	80-85° C	1-2 хв.
Білий	65-70° C	30 с.-1 хв.
Жовтий	70-75° C	2-3 хв.
Улун	95-100° C	3 хв.
Пуєр	80-98° C	20 с.-1 хв.
Трав'яні	98-100° C	5-8 хв.

Постановка завдання

В приготуванні різних сортів чаю виникає проблема управління режимами нагрівання та охолодження води, оскільки просте кип'ятіння не задовольняє ці температурні умови, а повторне призводить до виведення з води корисних речовин та утворення так званої важкої води, в якій хоч і в невеликій кількості утворюються ізотопи дейтерію, що є шкідливим для людини.

Для вирішення цієї проблеми потрібно створити систему автоматичного управління нагрівом води до заданої необхідної температури, яка може бути реалізована на мікроконтроллері.

Об'єктом дослідження є електропобутовий прилад, а саме електричний чайник.

Теоретичні методи дослідження полягають у визначенні аналітичним способом часу нагріву та охолодження води в електричному чайнику.

Експериментальні методи дослідження полягають в розробці лабораторного стенду для проведення досліджень та визначення експериментальним способом часу нагріву та охолодження води в електричному чайнику.

Результати досліджень

Для роботи мікроконтроллера необхідно запрограмувати його алгоритм роботи. На рис. 1 та рис. 2 наведені відповідно блок-схема алгоритму, та принципова електрична схема автоматичного управління нагрівом води в електричному чайнику з реалізацією мікроконтроллера.

Для реалізації схеми автоматичного управління в електричному чайнику необхідно спочатку дослідити як змінюється температура нагріву і охолодження води та електронагрівача в модернізованій моделі електричного чайника, характер її зміни та визначити час нагріву та охолодження води спочатку аналітичним, а потім експериментальним способами та порівняти їх між собою.

На основі цих порівнянь зробити висновки. У висновках вказати яка вхідна величина керування більш ефективніша при створенні системи автоматичного керування: температура води чи температура електронагрівача.

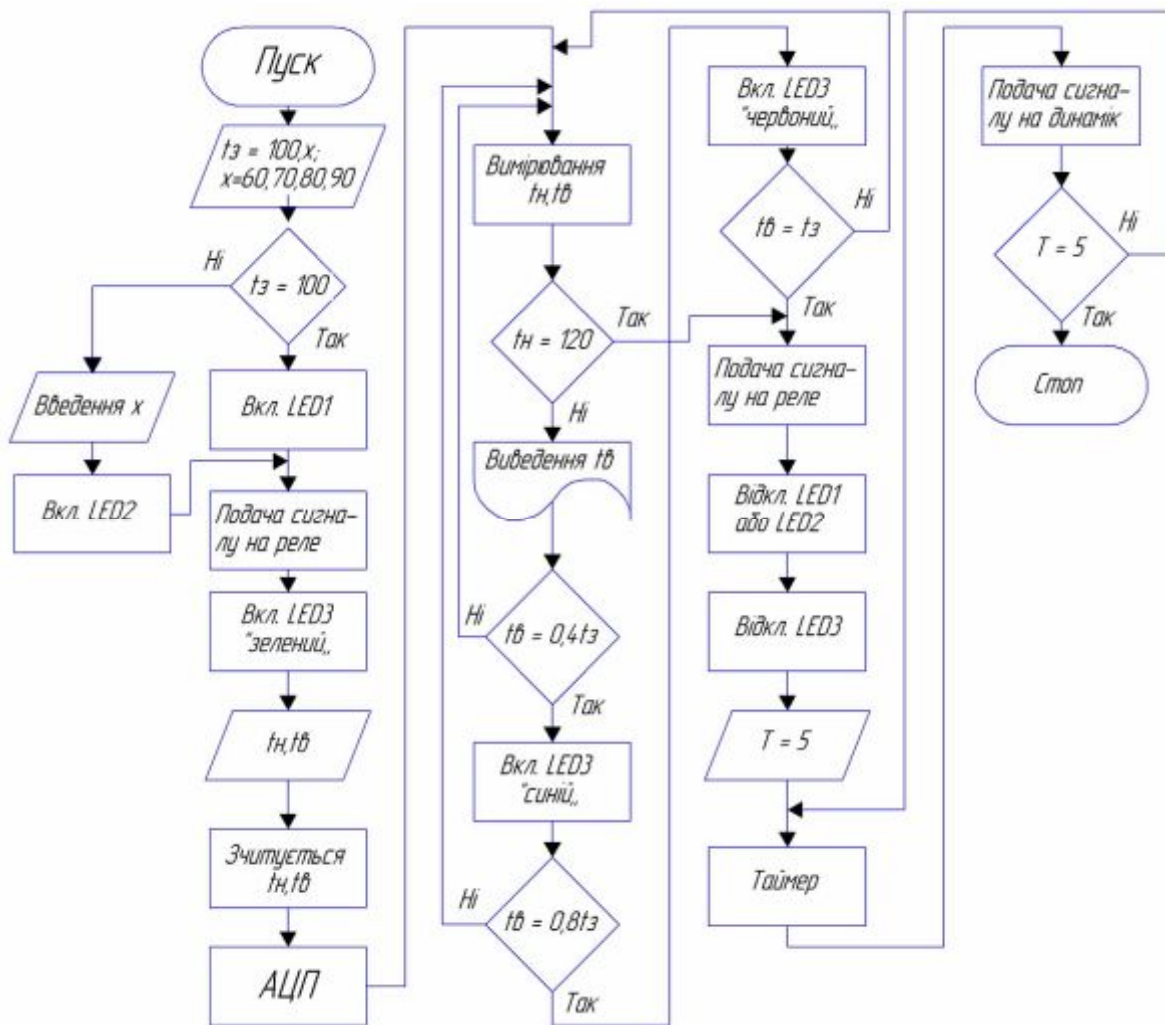


Рис. 1. Блок-схема алгоритму автоматичного управління нагрівом води в електричному чайнику

Визначення аналітичним способом часу нагріву та охолодження води в електричному чайнику.

Визначення часу нагріву та охолодження води в електричному чайнику розрахунковим способом дає змогу так би мовити заздалегідь дізнатися можливі результати експериментальних досліджень, та порівняти їх з розрахунковими. Для цього необхідно аналітично вивести рівняння які б повністю описували криві нагріву та охолодження, тобто нагрів, або охолодження від деякого значення початкової температури $T_{вп}$ до деякого кінцевого температурного значення $T_{вк}$, але яке при нагріві не перевищує 100°C (температуру кипіння води за нормальних умов), а при охолодженні досягає $T_{вп}$. Отже спочатку визначаємо час нагріву, потім охолодження.

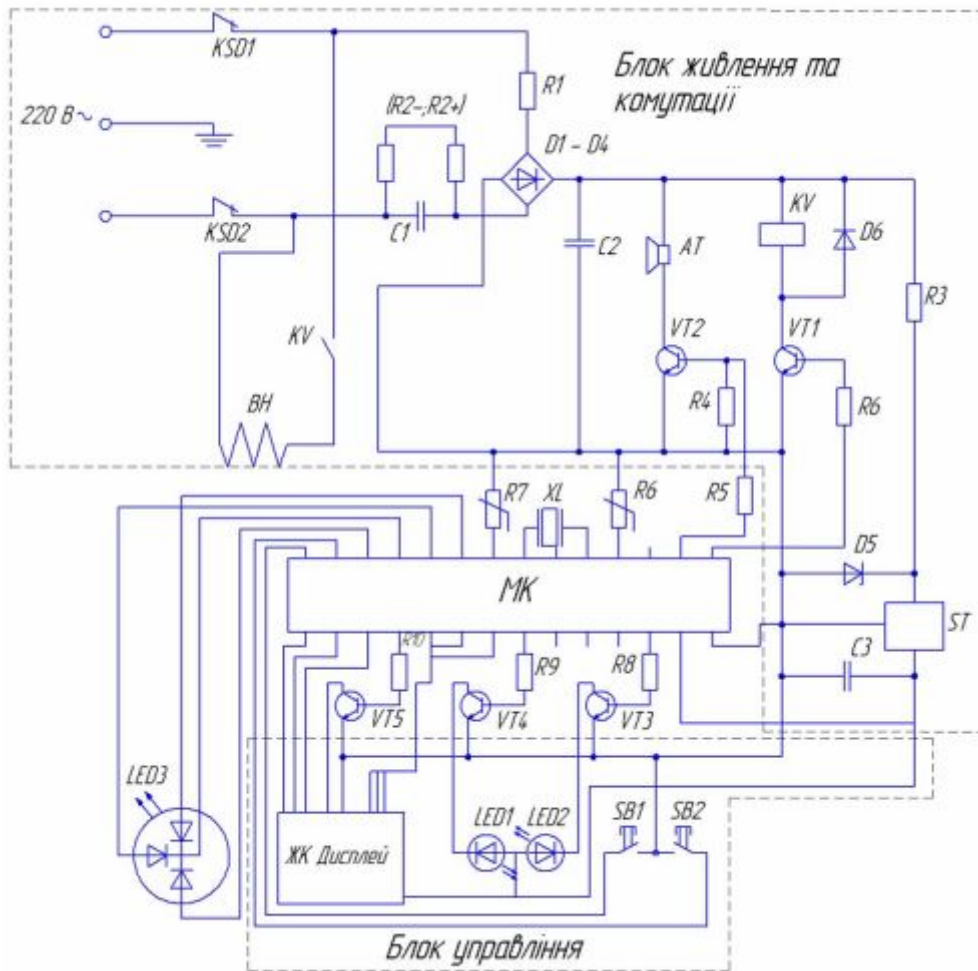


Рис.2. Принципова електрична схема реалізації мікроконтролера

Визначення аналітичним способом часу нагріву води в електричному чайнику.

Елементарна кількість тепла, яке відводиться в повітря ΔQ_1 , Дж

$$\Delta Q_1 = KF(T_e - T_n)\Delta t \quad (1)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі; F – площа резервуару, що нагрівається, максимально заповненого водою, m^2 ; T_e – початкове значення температури води, $^{\circ}C$. Приймаємо рівною $20^{\circ}C$; T_n – температура оточуючого повітря, $^{\circ}C$. Приймаємо рівною $25^{\circ}C$; Δt – величина змінювання часу, с;

Коефіцієнт теплопередачі K визначаємо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі, між водою та стінкою електричного чайника, $Вт/м^2 \cdot ^{\circ}C$. Приймаємо рівним $\alpha_1 = 130 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^{\circ}C$; α_2 – коефіцієнт тепловіддачі, між стінкою

електричного чайника та повітрям, $\text{Вт/м}^2\text{°C}$. Приймаємо рівним $\alpha_2 = 150 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$; δ_1 – товщина сталевого прошарку стінки резервуару електричного чайника, м ($\delta_1 = 0,002$ м); δ_2 – товщина скляного прошарку стінки резервуару електричного чайника, м ($\delta_2 = 0,003$ м); λ_1 – теплопровідність сталевого прошарку стінки резервуару електричного чайника, $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$ (для сталі $\lambda = 47\text{...}52 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$). Приймаємо $\lambda_1 = 52 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$; λ_2 – теплопровідність скляного прошарку стінки резервуару електричного чайника, $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$ (для скла $\lambda = 1,5\text{...}2 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$). Приймаємо $\lambda_2 = 1,5 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$.

Площу резервуару F , м^2 максимально заповненого водою в електричному чайнику визначаємо, як площу повної поверхні циліндра (кривизною знехтуємо)

$$F = 2\pi r(r + h) \quad (3)$$

де r – радіус поверхонь циліндричного резервуару, м ($r = 0,1$ м); h – висота стінки циліндричного резервуару заповненої водою, м ($h = 0,25$ м).

Елементарна кількість тепла, яка надходить від нагрівача ΔQ_2 , Дж

$$\Delta Q_2 = W\Delta t \quad (4)$$

де W – потужність електронагрівача, Вт ($W = 1870$ Вт); Δt – величина змінювання часу, с.

Елементарна кількість тепла, яка потрібна для зміни температури води ΔQ_3 , Дж

$$\Delta Q_3 = mc\Delta t \quad (5)$$

де m – маса нагріваємої води електричним чайником, кг ($m = 1,7$ кг); де c – питома теплоємність води, $\text{кДж/кг}^{\circ}\text{C}$ ($c = 4200 \text{ кДж/кг}^{\circ}\text{C}$); Δt – величина змінювання часу, с.

Складаємо рівняння теплового балансу:

$$\Delta Q_2 - \Delta Q_1 = \Delta Q_3 \quad (6)$$

$$W\Delta t - KF(T_e - T_n)\Delta t = mc\Delta t$$

Вирішуємо диференціальне рівняння:

$$(W - KF(T_e - T_n))\Delta t = mc\Delta t$$

Проінтегрувавши задане диференціальне рівняння та здійснивши відповідні перетворення, остаточно отримаємо:

$$T_{ек} = \frac{W}{KF} + T_n - \left(\frac{W}{KF} + T_n - T_{ен}\right)e^{-\frac{KF}{mc}t} \quad (7)$$

Крива нагріву побудована в середовищі Mathcad наведена нижче:

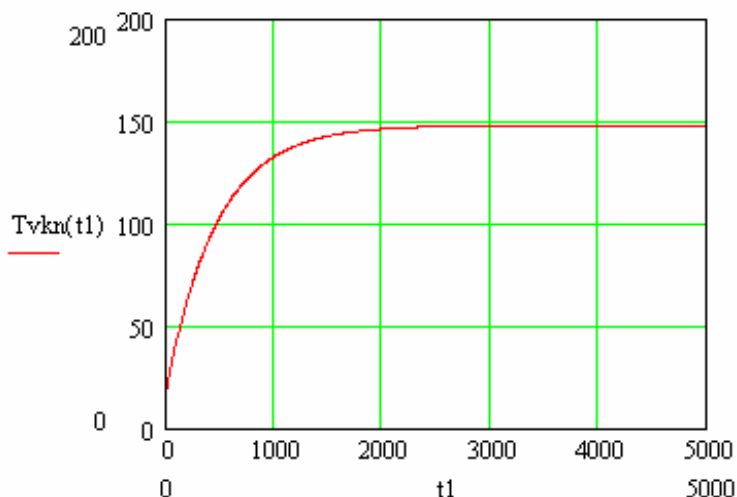


Рис. 3. Крива зміни нагріву води в електричному чайнику

Визначення аналітичним способом часу охолодження води в електричному чайнику.

Оскільки при охолодженні води в електричному чайнику теплота з нагрівача не надходить, тому при складанні рівняння теплового балансу враховуємо тільки теплоту, яка відводиться в повітря ΔQ_1 , та теплоту, яка необхідна для зміни температури води ΔQ_3 . Отже рівняння теплового балансу при охолодженні набуває вигляд:

$$-\Delta Q_1 = \Delta Q_3 \quad (8)$$

$$-KF(T_s - T_n)\Delta\tau = mc\Delta t$$

Вирішуємо диференціальне рівняння:

$$\frac{\Delta\tau}{KF(T_s - T_n)} = -\frac{\Delta\tau}{mc}$$

$$\int_{T_{en}}^{T_{ex}} \frac{\Delta\tau}{T_s - T_n} = -\frac{KF}{mc} \int_0^\tau \Delta\tau$$

Здійснивши всі необхідні перетворення остаточно отримуємо:

$$T_{ex} = T_n + (T_{en} - T_n)e^{-\frac{KF}{mc}\tau} \quad (9)$$

Будуємо криву охолодження в середовищі Mathcad:

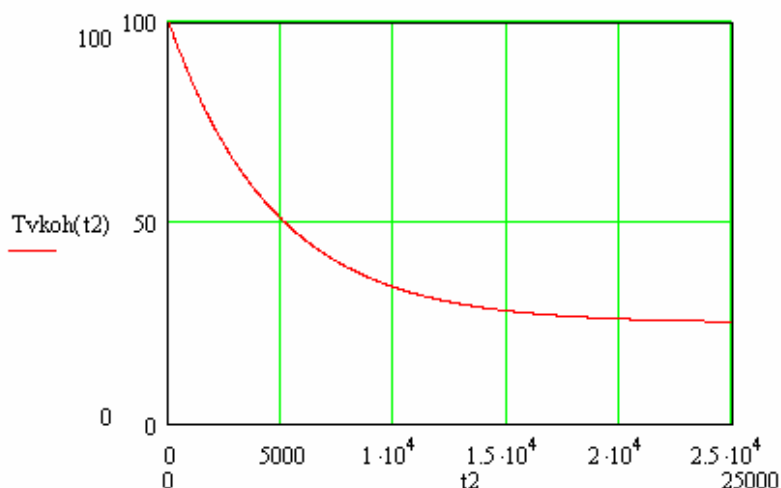


Рис. 4. Крива зміни охолодження води в електричному чайнику

Аналізуючи графіки нагріву та охолодження побудовані в середовищі Mathcad визначаємо час нагріву та охолодження води в електричному чайнику.

Проаналізувавши графік нагріву зображений на рис. 3, можна стверджувати, що зміна температури води від початкового значення $T_{вп} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до кінцевого (температури кипіння) $T_{вк} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбудеться за час $t_{н} = 430\text{ с} = 7\text{ хв } 9\text{ с}$.

Проаналізувавши графік охолодження зображений на рис. 4, графічно можна стверджувати, що зміна температури води від початкового значення (температури кипіння) $T_{вп} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ до кінцевого значення (початкова температура води) $T_{вк} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбудеться за час $t_{ох} = 22000\text{ с} = 6\text{ год } 18\text{ хв}$.

Визначення експериментальним способом часу нагріву та охолодження води в електричному чайнику.

Для визначення експериментальним способом часу нагріву та охолодження води в електричному чайнику необхідно розробити лабораторний стенд і за допомогою нього провести всі необхідні дослідження.

Розробка лабораторного стенду для автоматичного керування заданою температурою нагріву води електричним чайником

На рис. 5 наведена принципова електрична схема стенду для проведення експериментальних досліджень.

Схема стенду для проведення експериментальних досліджень складається з регулюючого лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) ТР1 за допомогою якого можна змінювати величину вхідної напруги і таким чином впливати на споживану

потужність та комплекта вимірювального К50, що являє собою поєднання трьох вимірювальних електроприладів: вольтметра, амперметра, ватметра.

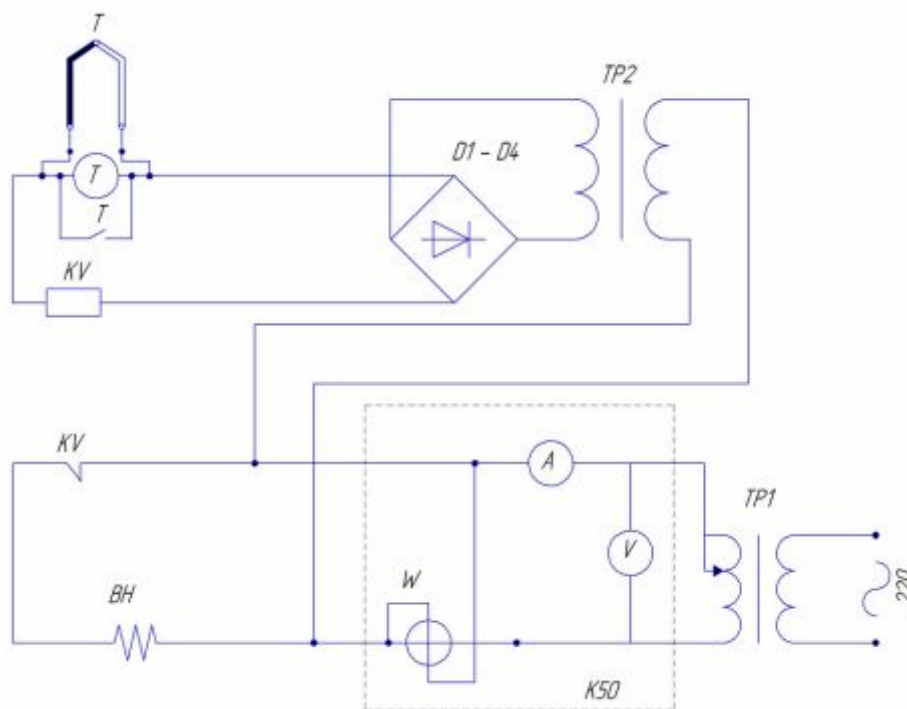


Рис. 5. Принципова електрична схема дослідного стенду

Регулювання, нагрів та підтримка заданої температури здійснюється за допомогою контактного вольтметра Т (М333К) до виводів якого приєднується термопара, та коло живлення котушки проміжного реле КV, розмикаючий контакт якого КV підключений в коло живлення нагрівача електричного чайника ВН.

Контактний вольтметр М333К являє собою термометр з двома контактними стрілками, якими може задаватися діапазон двохпозиційного регулювання, та показникової стрілки, яка відхиляється при зміні температурного значення.

Проміжне реле постійного струму М333К слугує для розімкнення кола живлення електронагрівача. Оскільки реле постійного струму, то живлення його котушки забезпечує блок живлення постійного струму який складається з трансформатора TP2 напруга вторинної обмотки якого $U_2 = 24$ В та діодного мосту D1-D4.

За допомогою контактного вольтметра М333К визначаємо час нагріву та охолодження води та електронагрівача від початкового температурного значення води $T_{п} = 20$ °С до кінцевого значення, температури кипіння води $T_{к} = 100$ °С при нагріві, та від $T_{к}$ до $T_{п}$ при охолодженні.

Після закінчення проведення досліджень на основі отриманих

експериментальних даних будуємо відповідні графіки.

Побудовані графіки нагріву та охолодження за результатами досліджень зображені на рис. 6 та рис.7.

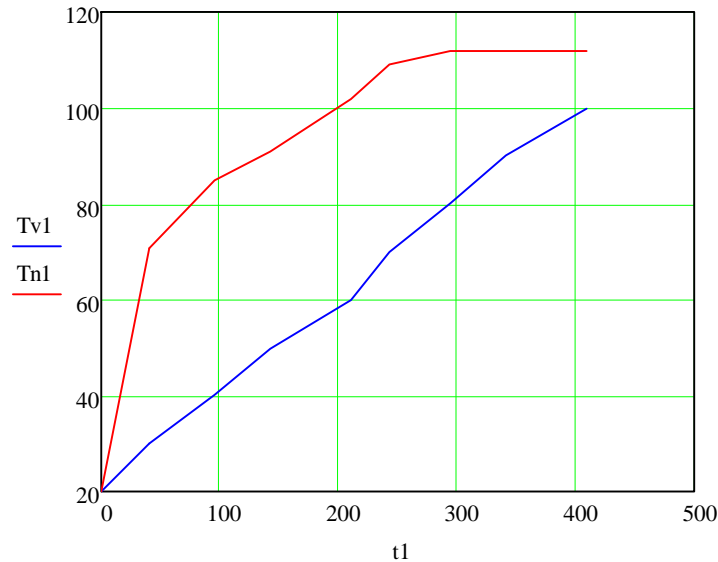


Рис. 6. Графік залежності температури води та температури нагрівача T_{n1} від часу t_1 при $U = 220$ В, $I = 8,4$ А, $P = 1880$ Вт

Як видно з графіку зображеному на рис. 6 нагрів електронагрівача в порівнянні з нагріванням води відбувається значно стрімкіше і його температура при температурі кипіння води 100 °С досягає значення 110 °С. На початку процесу нагрівання коли значення температури води змінюється від 20 °С до 30 °С, відбувається різкий скачок температури електронагрівача від 20 °С до 70 °С, а далі збільшення температури електронагрівача відбувається поступово і при подальшому нагріванні води від 80 °С до 100 °С, температура електронагрівача досягнувши значення 110 °С залишається майже сталою тобто практично не змінюваною.

Різниця, між температурою нагріву води та температурою нагріву електронагрівача і характером їх змінювання пояснюється тим, що при нагріванні деякої кількості води спочатку нагрівається електронагрівач інерційність нагріву та охолодження якого значно більша в порівнянні з водою, далі за рахунок віддачі тепла воді тобто теплообміну, між електронагрівачем та водою, вода в електричному чайнику починає поступово нагріватися до значення, поки не виникне тепловий баланс. Чим більша температура електронагрівача та менший час його нагрівання і чим більша тепловіддача, між електронагрівачем та водою, тим швидше відбудеться процес нагрівання води в електричному чайнику.

Проаналізувавши графік нагріву зображений на рис. 6, можна стверджувати, що зміна температури води від початкового значення $T_{вп} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до кінцевого (температури кипіння) $T_{вк} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбудеться за час $t_{нв} = 410\text{ с} = 6\text{ хв. } 50\text{ с}$.

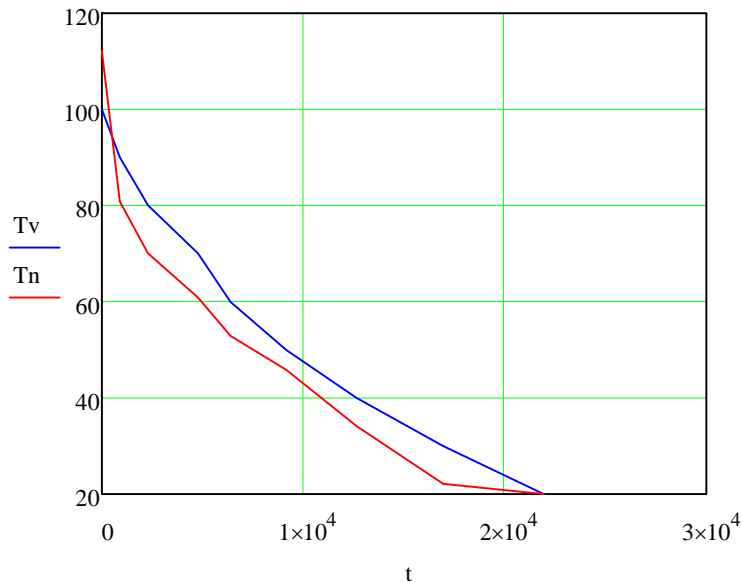


Рис. 7. **Графік залежності температури води T_v та температури електронагрівача T_n від часу t при охолодженні від кінцевого значення (температури кипіння) $T_{вк} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ до початкового значення температури води $T_{вп} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$**

Далі проаналізуємо графік охолодження води та електронагрівача в електричному чайнику зображеному на рис. 7.

З графіку видно, що охолодження води відбувається плавніше, ніж електронагрівача. Охолодження нагрівача відбувається зі скачками температури від від $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, далі поступове охолодження до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, а потім повільне охолодження до початкового температурного значення $T_{вп} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це пояснюється знову ж таки більшою інерційністю охолодження нагрівача. Як видно з графіку період охолодження від кінцевої до початкової температури води з часом зростає, тобто можна стверджувати, що тепловіддача в навколишнє середовище при охолодженні з часом зменшується.

Проаналізувавши графік охолодження зображений на рис. 7, графічно можна стверджувати, що зміна температури води від початкового значення (температури кипіння) $T_{вп} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ до кінцевого значення (початкова температура води) $T_{вк} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ відбудеться за час $t_{ох} = 21500\text{ с} = 5\text{ год. } 58\text{ хв}$.

Порівняємо, між собою час нагріву та охолодження води в електричному чайнику визначені аналітичним та експериментальними способами та для зручності заносимо їх до таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння часу нагріву та охолодження води в електричному чайнику визначеного аналітичним та експериментальним способами

Способи визначення	$t_{\text{н}}$,	$t_{\text{охол}}$
Аналітичний	430 с = 7 хв. 9с.	22000 с = 6 год. 18 хв.
Експериментальний	410 с = 6 хв. 50 с	21500 с = 5 год. 58 хв.

Як видно з таблиці 2 час нагріву та охолодження води в електричному чайнику визначені аналітичним способом практично співпадають з експериментальними.

Висновки

Оскільки час нагріву та охолодження води в електричному чайнику визначений аналітичним способом практично співпадає з експериментальним. Це дає змогу при розробці системи автоматичного керування температурними режимами посилатися в рівній мірі не тільки на експериментальні дані, але і на аналітичні розрахунки.

Оскільки нагрів води та охолодження води в електричному чайнику відбувається плавніше в порівнянні з електронагрівачем, та враховуючи сталість температури електронагрівача від 80 °С до 100 °С, беручи при цьому за основу характер нагріву електронагрівача, автоматичне регулювання температурними режимами води заварювання відповідних сортів чаю при використанні температури електронагрівача як вхідної величини автоматичної системи керування не є ефективним, оскільки практично неможливо регулювати нагрівачу температуру води в електричному чайнику від 80 °С до 100 °С, тому для точного регулювання заданої темпері значно ефективніше використовувати в якості вхідної величини керування температуру води з розміщенням датчика температури при якому відбувається безпосередній контакт з водою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кузовлев В. А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи / В. А. Кузовлев – М. : Высшая школа, 1983. – 335с.
2. Архаров А. М. Теплотехника / А. М. Архаров, С. И. Исаев – М. : Вышш. шк., 1986. – 372 с.
3. Егоров В. И. Точные методы решения задач теплопроводности / В. И. Егоров – Уч. пособие, 2006. – 39 с.

Нещерет Н. М., Злотенко Б. Н.

Автоматическое управление электроприбором для нагрева воды

Киевский национальный университет технологий и дизайна

В статье представлены графики результатов аналитического и экспериментального определения времени температуры нагрева и охлаждения воды в электрическом чайнике с автоматизированной системой управления температурными режимами необходимые для заваривания различных сортов чая. Осуществлено сравнение экспериментальных данных времени нагрева и охлаждения воды в электрическом чайнике с расчетными. Приведенная схема стенда для проведения экспериментальных исследований и ее описание. Для решения проблемы регулирования температуры нагрева воды в электрическом чайнике предложена принципиальная электрическая схема управления заданной темперой на микроконтроллере.

Ключевые слова: *электрический чайник, электронагреватель, начальное и конечное значение температуры воды, нагрев до заданной температуры, автоматическое управление, температурные режимы, кипение, охлаждение*

Neshcheret N. M., Zlotenko B. N.

Automatic control of the appliance to heat water

Kyiv National University of Technology & Design

The article presents the results of analytical charts and experimental determination of the time of heating and cooling water in an electric kettle with automated temperature control necessary for brewing different teas. It carried out a comparison of the experimental data the time of heating and cooling water in an electric kettle with settlement. This scheme stand for experimental studies and description. To solve the problems of regulating the temperature of heating water in an electric kettle proposed a circuit diagram of the control specified in tempera on a microcontroller.

Key words: *electric kettle, electric heater, the initial and final value of the water temperature, heating to the desired temperature, automatic control, temperature, boiling, cooling*