

УДК 621.313.333-57

І.З. Щур, А.І. Наконечний

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра ЕАП

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИГАРЕТНОЇ МАШИНИ УДОСКОНАЛЕННЯМ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

© Щур І.З., Наконечний А.І., 2002

Для усунення браку в роботі сигаретної машини у вигляді обпалу сигаретного джгута та його випадання з обрізного пристрою розроблено систему форсованого нагрівання та охолодження нагрівального елемента праски та слідкуючий за його температурою електропривід сигаретної машини.

In order to eliminated deficiencies in the functioning of the cigarette-making machine, for instance, burning of the cigarette plait and its felling off from the cutting device, the system of accelerated heating and cooling of the heating element of the iron and the system of the electric driver that monitors its temperature have been designed.

На сьогодні, незважаючи на шкідливість для здоров'я людини, сигарети і тютюнові вироби є одним з товарів широкого вжитку. У зв'язку з масовістю виробництва при випуску сигарет значну роль відіграє високий рівень автоматизації виробництва. Сигаретна машина Škoda-9с, об'єкт цієї роботи, є автоматом, тому надійна та безвідходна її робота збільшує кількість і знижує собівартість продукції.

Сигаретна машина працює на двох швидкостях: робочій (3000 сиг./хв) і пониженій (400 сиг./хв). На понижену швидкість машина переходить автоматично при заміні бобин з папером, випаданні сигаретного джгута з направляючої трубки і розриві паперу.

Недоліками технологічного процесу виробництва сигарет на такій машині є досить часте випадання сигаретного джгута з направляючої трубки обрізного пристрою, особливо при швидкому переході з робочої швидкості на понижену і навпаки, а також обпал і відхід у брак сигарет при переході і роботі на пониженій швидкості під час автоматичного приєднання бобин з папером. З метою зменшення браку забезпечується достатньо швидкий темп переходу з робочої швидкості на понижену і навпаки, але при цьому відбувається досить часте випадання сигаретного джгута з направляючої трубки обрізного пристрою. Зменшити частоту випадання сигаретного джгута з направляючої трубки обрізного пристрою можна плавнішим темпом переходу з швидкості на швидкість. Але при цьому збільшується кількість браку у вигляді обпалених сигарет. Усунути це протиріччя вирішено таким шляхом: вводиться регулювання температури праски на час переходу на понижену швидкість, а керування швидкістю головного приводу відбувається у функції цієї температури. Практика показує, що оптимальним прискоренням та сповільненням машини слід вибрати значення ± 200 сиг./хв. за секунду, що становить $3,33$ сиг./с².

Для надійної безбракової роботи машини у вказаних перехідних режимах та на пониженій швидкості необхідно розробити та розрахувати параметри електричної праски, яка забезпечувала б відповідну температуру при робочій і пониженій швидкостях та потрібний темп зміни температури у перехідних режимах. Вихідними даними для розробки процесу склеювання сигаретного паперу повинна послужити залежність між температурою ϑ та часом склеювання t , необхідним для отримання визначеної твердості клею та міцності шва, так звана кінетична крива сушіння клею, яка зображена на рис. 1 [1].

На кривій виділяють три характерні стадії процесу. В області *a* швидкість протікання процесу сильно залежить від зміни температури через вплив хімічних реакцій. В області *в* швидкість протікання процесу мало залежить від температури, в цій стадії найзначущіші фізичні процеси масопереносу. Область *б* є перехідною.

За допомогою показаної на рис. 1 кривої, враховуючи розміри нагрівального елемента праски та швидкості проходження сигаретного джгута, визначено необхідну температуру нагрівача праски при робочій та пониженій швидкості сигаретної машини, відповідно $\vartheta_p = 300\text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{II} = 102\text{ }^\circ\text{C}$. Використовуючи кінетичну криву сушіння клею, на рис. 2 побудована залежність температури нагрівача від лінійної швидкостях сигаретної машини в інтервалі від пониженої швидкості до робочої.

Для забезпечення нагрівання та охолодження нагрівача праски необхідно передбачити певні конструкційні рішення цього вузла.

Форсування нагрівання можна забезпечити вибором матеріалу нагрівача з малою теплоємністю і високою теплопровідністю та встановленням досить потужного електричного нагрівного елемента. Таким умовам відповідає матеріал алюміній, а потужність електричного нагрівача буде визначено нижче.

Форсування охолодження праски можна забезпечити за допомогою теплового контакту нагрівача з масивним радіатором, виконаним з матеріалу з доброю теплопровідністю і високою теплоємністю. Таким матеріалом є мідь, а необхідні розміри радіатора будуть визначені нижче.

Розрахуємо електричну потужність, яка повинна споживатися резистивним елементом нагрівача праски в установлених режимах при робочій та пониженій швидкостях сигаретної машини.

В усталеному тепловому процесі споживана нагрівачем електрична потужність дорівнює потужності тепловіддачі з поверхні нагрівача та праски у навколишнє середовище. Теоретично можна лише з певним

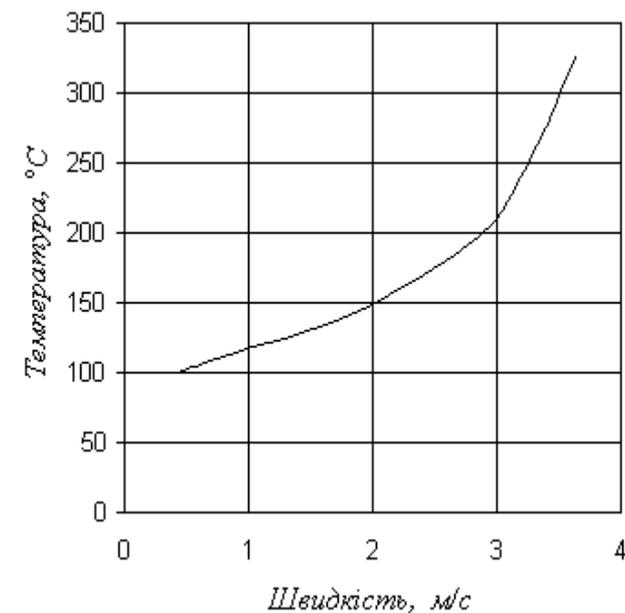


Рис. 2. Залежність температури нагрівача праски від лінійної швидкості сигаретної машини

наближенням оцінити тепловіддачу від нагрівача. Сумарний процес тепловіддачі конвенцією та випромінюванням з поверхні нагрівача оцінимо за допомогою коефіцієнта тепловіддачі α , значення якого для температур ϑ_p і ϑ_{II} прийемо таким, що дорівнює $\alpha_p = 25\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ та $\alpha_{II} = 15\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ [2]. Тепловий потік від нагрівача у навколишнє середовище при робочій та пониженій швидкостях машини відповідно дорівнює $q_p = 231\text{ Вт}$, $q_{II} = 40,6\text{ Вт}$.

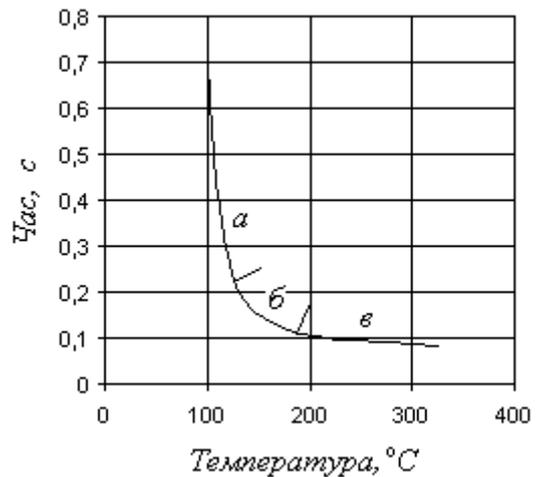


Рис. 1. Кінетична крива сушіння клею

Розрахунок встановленої потужності нагрівача

Максимальна встановлена потужність нагрівача праски повинна забезпечити швидкість нагрівання, яка б відповідала заданому оптимальному прискоренню сигаретної машини в перехідному процесі від пониженої до робочої швидкості. Для визначення темпу наростання температури в нагрівачі при його підключенні на електричну потужність P використаємо метод теплового балансу і знехтуємо нерівномірністю тепловиділення в нагрівачі. Тепловиділення за нескінченно малий проміжок часу dt дорівнює теплу, що запасується в тілі при збільшенні його температури перегрівання на $d\vartheta$ і теплу, що виділяється у навколишнє середовище:

$$P dt = c_H m_H d\vartheta + \alpha A \tau dt, \quad (1)$$

де c_H , m_H – відповідно питома теплоємність та маса нагрівача; A – площа поверхні нагрівача; $\tau = \vartheta - \vartheta_0$ – різниця температур нагрівача і навколишнього середовища.

Лінійне неоднорідне диференціальне рівняння (1) має відомий розв'язок [3]:

$$\tau = (\tau_{\text{поч}} - \tau_{\text{кін}}) e^{-t/T_H} + \tau_{\text{кін}}.$$

Постійна часу нагрівання для нагрівача праски дорівнює: $T = c_H m_H / \alpha_{\text{ср}} A = 757$ с.

Необхідна для забезпечення цього темпу нагрівання електрична потужність нагрівача становить $P = \alpha_{\text{ср}} A \tau_{\text{кін}} = 7558$ Вт.

Отже, у нагрівачі праски повинна бути встановлена електрична спіраль потужністю 7560 Вт. Проте це не є потужністю усталеного режиму, а лише потужністю форсування перехідного процесу нагрівання праски. При досягненні τ_p нагрівач переходить у повторно-короткочасний режим роботи з метою підтримання робочої температури ϑ_p . Цей режим забезпечується термостатом з релейним керуванням нагрівачем.

Розрахунок параметрів радіатора для забезпечення оптимального темпу охолодження нагрівача праски

Для визначення необхідних геометричних розмірів радіатора треба розв'язувати задачу нестационарного теплообміну між тілом алюмінієвого нагрівача та мідного радіатора при їх механічному контакті. Розрахункова схема для даної задачі показана на рис. 3.

Для спрощення задачі знехтуємо тепловтратами нагрівача та радіатора у зовнішнє середовище, які порівняно з тепловим потоком між тілами 1 і 2 будуть незначними. Тому будемо розглядати деталі 1 і 2 як тіла із зосередженими параметрами, що дозволить розв'язати поставлену задачу балансовим методом в аналітичному вигляді.

Враховуючи введені допущення, нестационарну теплопередачу між тілами 1 і 2 можна описати такими рівняннями:

$$\begin{cases} c_1 m_1 d\vartheta_1 = -q dt \\ c_2 m_2 d\vartheta_2 = q dt \\ q = k_{1-2} A_{1-2} (\vartheta_1 - \vartheta_2) \end{cases}, \quad (2)$$

де q – тепловий потік від тіла 1 до тіла 2; k_{1-2} – коефіцієнт теплопередачі від тіла 1 до тіла 2; A_{1-2} – розрахункова площа контакту між тілами 1 і 2.

Систему рівнянь (2) можна звести до системи диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} c_1 m_1 \frac{d\vartheta_1}{dt} + k_{1-2} A_{1-2} \vartheta_1 = k_{1-2} A_{1-2} \vartheta_2 \\ c_2 m_2 \frac{d\vartheta_2}{dt} + k_{1-2} A_{1-2} \vartheta_2 = k_{1-2} A_{1-2} \vartheta_1 \end{cases} \quad (3)$$

Продиференціювавши друге рівняння по t , визначивши $d\vartheta_1/dt$ та підставивши в перше рівняння, отримуємо лінійне однорідне диференціальне рівняння другого порядку

$$\frac{c_1 c_2 m_1 m_2}{k_{1-2} A_{1-2}} \frac{d^2 \vartheta_2}{dt^2} + (c_1 m_1 + c_2 m_2) \frac{d\vartheta_2}{dt} = 0. \quad (4)$$

За допомогою подвійного інтегрування знаходимо розв'язок диференціального рівняння (4) у вигляді

$$\vartheta_2 = -B_1 \frac{1}{s} e^{-st} + B_2, \quad (5)$$

$$\text{де } s = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2) k_{1-2} A_{1-2}}{c_1 c_2 m_1 m_2}.$$

Розв'язок (5) та похідну за часом від нього $d\vartheta_2/dt = B_1 e^{-st}$ підставляємо в друге рівняння системи (3) і визначаємо

$$\vartheta_1 = B_1 \left(\frac{c_2 m_2}{k_{1-2} A_{1-2}} - \frac{1}{s} \right) e^{-st} + B_2. \quad (6)$$

Початковими умовами для даної задачі є крайові умови першого роду: при $t = 0$ $\vartheta_1 = \vartheta_{1\text{поч}}$, $\vartheta_2 = \vartheta_{2\text{поч}}$. Підставивши початкові умови в рівняння (5) і (6), знаходимо постійні інтегрування

$$\left. \begin{aligned} B_1 &= (\vartheta_{1\text{поч}} - \vartheta_{2\text{поч}}) \frac{k_{1-2} A_{1-2}}{c_2 m_2} \\ B_2 &= \vartheta_{2\text{поч}} + B_1 / s \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

З врахуванням сталих інтегрування (7) отримуємо аналітичні вирази зміни температур тіл 1 і 2 в нестационарному процесі теплообміну між ними

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_1(t) &= \vartheta_{2\text{поч}} + (\vartheta_{1\text{поч}} - \vartheta_{2\text{поч}}) \left[e^{-st} + \left(1 + \frac{c_2 m_2}{c_1 m_1} \right)^{-1} (1 - e^{-st}) \right] \\ \vartheta_2(t) &= \vartheta_{2\text{поч}} + (\vartheta_{1\text{поч}} - \vartheta_{2\text{поч}}) \left(1 + \frac{c_2 m_2}{c_1 m_1} \right)^{-1} (1 - e^{-st}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Після закінчення перехідного процесу температури тіл 1 і 2 зрівняються і будуть становити

$$\vartheta_{1\text{уст}} = \vartheta_{2\text{уст}} = \vartheta_{2\text{поч}} + (\vartheta_{1\text{поч}} - \vartheta_{2\text{поч}}) \left(1 + \frac{c_2 m_2}{c_1 m_1} \right)^{-1}.$$

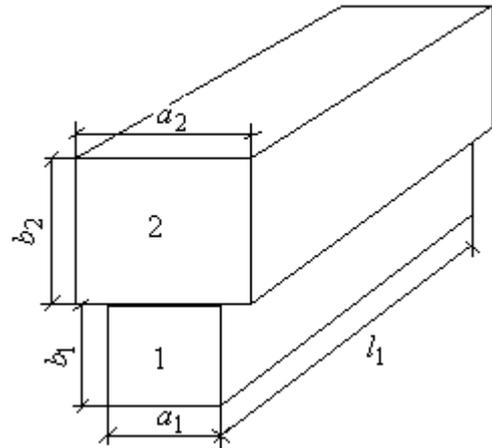


Рис. 3. Розрахункова схема нагрівача 1 і радіатора 2 праски

В отриманих виразах значення k_{1-2} і A_{1-2} можна визначити так:

$$k_{1-2} = \left(\frac{b_1}{2\lambda_1} + \frac{b_2}{2\lambda_2} \right)^{-1}; \quad A_{1-2} = a_1 l_1,$$

де λ_1, λ_2 – коефіцієнти теплопровідності матеріалів тіл 1 і 2 (алюміній і мідь відповідно); решта геометричних параметрів позначено на рис. 3.

Прийнятий вираз для визначення коефіцієнта теплопередачі між нагрівачем і радіатором k_{1-2} , звичайно, дає можливість тільки наближено оцінити швидкість теплопередачі. Реально процес буде супроводжуватися значними градієнтами температури в тілах 1 і 2. Точний розв'язок реальної тривимірної задачі теплопровідності пов'язаний зі значними труднощами, які в даному випадку не є доцільними. Тому за контрольні точки взято повздовжні осі тіл, які у зв'язку з їх протяжністю вважаються безконечно довгими. Отже, задача зводиться до одновимірної.

Маси тіл дорівнюють $m_1 = \rho_1 a_1 b_1 l_1$ та $m_2 = \rho_2 a_2 b_2 l_2$, де ρ_1 і ρ_2 – густини матеріалів тіл 1 і 2.

Враховуючи задані геометричні розміри нагрівального елемента праски та фізичних параметрів алюмінію і міді [4], розраховані за виразами (8) і зображені на рис. 4 часові залежності процесу охолодження нагрівача і нагрівання радіатора для ряду розмірів радіатора. Порівняння цих залежностей з необхідним законом охолодження нагрівача дозволяє зробити висновок, що оптимальними будуть такі розміри мідного радіатора: $a_2 = 40$ мм, $b_2 = 40$ мм, $l_2 = 305$ мм. До температури $\vartheta_{\text{п}} = 102$ °С нагрівач охолоне за 13,5 с. Цей час охолодження близький до оптимального часу нагрівання і охолодження нагрівача, що дорівнює 13 с.

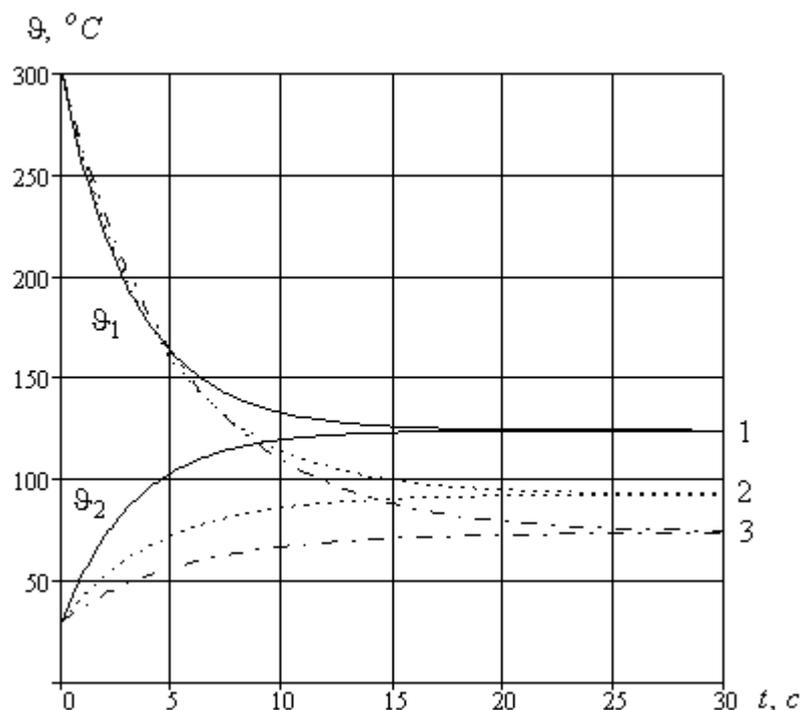


Рис. 4. Результати математичного моделювання нестационарної теплопередачі між нагрівачем та радіатором при різних розмірах радіатора ($a_2 \times b_2$):
1 – 30×30 мм; 2 – 40×40 мм; 3 – 50×50 мм

Реалізація системи електропривода

Функціональна схема системи електропривода сигаретної машини показана на рис. 5. Привідний асинхронний двигун АД, який за допомогою механічних передач синхронно обертає всі основні вузли сигаретної машини СМ живиться від тиристорного перетворювача частоти ПЧ, який забезпечує робочу, понижену швидкість роботи, а також перехідні режими між цими швидкостями. В перехідних режимах і на пониженій швидкості, коли здійснюється форсоване охолодження і нагрівання праски, електроривід працює в слідкуючому режимі – швидкість СМ регулюється у функції температури нагрівального елемента праски. Напруа, пропорційна цій температурі, надходить з давача температури ДТ на функціональний перетворювач ФП, який реалізує залежність, показану на рис. 2.

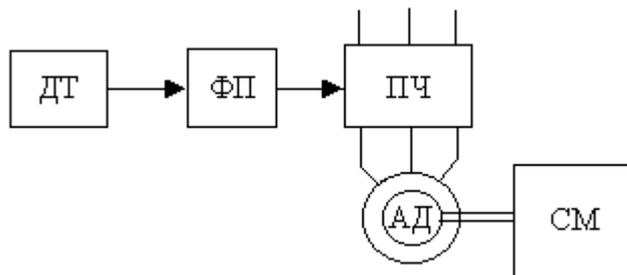


Рис. 5. Функціональна схема слідкуючого електропривода сигаретної машини

Висновки

1. Завдяки підвищенню плавності перехідних режимів з робочої швидкості на понижену і навпаки забезпечується надійна робота сигаретної машини.
2. Відсутність браку сигарет через їх обпал при переходах і роботі з пониженою швидкістю досягається форсованим регулюванням температури праски та автоматичного керування швидкістю машини згідно з температурою нагрівного елемента.

1. Рабинович Г.Д., Слободкин Л.С. *Терморрадиационная и конвективная сушка лакокрасочных покрытий.* – Минск, 1966. 2. Вавилов В.П. *Тепловые методы контроля композиционных структур и изделий радиоэлектроники.* – М., 1984. 3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. *Теплопередача.* – М., 1981. 4. Гофман Ю.В. *Законы, формулы, задачи физики: Справочник.* – К., 1977.