

$$\tau_{(9)} = 0,252 \frac{\text{люд.} - \text{год.}}{\text{год.}}; \quad \tau_{(6)} = 0,297 \frac{\text{люд.} - \text{год.}}{\text{год.}}$$

Таким чином дев'ятиперіодна структура ремонтного циклу для рубальної машини є оптимальнішою.

Аналогічно розроблено і обґрунтовано структури ремонтного циклу для інших верстатів (табл. 2).

Висновки. Існуюча практика виконання ремонтів за суб'єктивною оцінкою ремонтників "на око" є збитковою і від неї треба відмовитися.

Обґрунтування структури ремонтного циклу за питомою трудомісткістю ремонту дає змогу оптимізувати зміст ремонтів, планувати ремонтні заходи і отримувати прибуток від зменшення витрат на ремонтні роботи.

На підприємствах, де виготовляють деревостружкові плити необхідно створити постійно діючі служби надійності які й відстежували зміну технічного стану обладнання, збирали статистичні дані щодо надійності й розробляли заходи для підвищення надійності та довговічності обладнання.

Література

1. **Проников А.С.** Исследование и расчет долговечности станков: Дис. ... д-ра техн. наук. – М.: Наука, 1954. – 346 с.
2. **Проников А.С.** Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
3. **Полоз В.І., Шостак В.В.** Моделювання ресурсу деталей верстатів для подрібнення деревини різанням// Наук. вісник НЛТУ України: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: НЛТУ України. – 2006, вип. 16.1. – С. 144-150.
4. **Шостак В.В.** Монтаж, технічне обслуговування і ремонт деревообробного обладнання: Підручник для ВНЗ. – Львів: "Ахіл", 2000. – 284 с.

УДК 674.047

*Проф. П.В. Білей, д-р техн. наук;
інж. Ю.Л. Безноско – НЛТУ України, м. Львів*

ЕНТРОПІЙНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ

Розглянуто ентропійний метод контролю температури повітря у сушильній камері та зміну ентропії залежно від теплових та механічних характеристик стану.

Prof. P.V. Biley, eng. Yu.L. Beznosko – NUFWT of Ukraine, L'viv

Entropical method of research of thermal description of drying chamber

The entropical method of control of temperature of air is considered in a drying chamber and change of entropic depending on thermal and mechanical descriptions of the state.

Зміна ентропії (dS) визначається відношенням кількості підведеної теплоти (dQ) до температури (T)

$$dS = \frac{dQ}{T}. \quad (1)$$

Для визначення зміни ентропії потрібно використати рівняння стану, калориметричне рівняння стану (яке зв'язує теплоємність з незалежними змінними) та основного рівняння термодинаміки.

Якщо відомими є незалежні змінні (T, v), то вираз для диференціалу ентропії отримаємо за допомогою основного рівняння термодинаміки

$$du = TdS - Pd v, \quad (2)$$

де: du – зміна внутрішньої енергії термодинамічної системи; $Pd v$ – робота, яка здійснена над системою.

Згідно з рівнянням (2), зміна внутрішньої енергії залежить від теплових (T, S) та механічних (P, v) характеристик стану. Таким чином

$$dS = \frac{c_v}{T} dT + \left(\frac{dP}{dT} \right)_v dv. \quad (3)$$

Після інтегрування (3) отримаємо значення зміни ентропії

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{c_v}{T} dT \right) + \int_{v_1}^{v_2} \left[\left(\frac{dP}{dT} \right)_v dv \right]_T. \quad (4)$$

Якщо відомими є незалежні змінні (P, v), то для отримання диференціалу ентропії використаємо основне рівняння термодинаміки (2) та рівняння внутрішньої енергії виражену через теплоємності

$$du = c_v \left(\frac{dT}{dP} \right)_v dP + \left[c_p \left(\frac{dT}{dv} \right)_p - P \right] dv. \quad (5)$$

Таким чином

$$dS = \frac{c_v}{T} \left(\frac{dT}{dP} \right)_v dP + \frac{c_p}{T} \left(\frac{dT}{dv} \right)_p dv. \quad (6)$$

Після інтегрування (6) отримаємо

$$\Delta S = \int_{P_1}^{P_2} \left[\frac{c_v}{T} \left(\frac{dT}{dP} \right)_v dP \right]_{v_1}^{v_2} + \int_{v_1}^{v_2} \left[\frac{c_p}{T} \left(\frac{dT}{dv} \right)_p dv \right]_{P_2}. \quad (7)$$

Для незалежних змінних (T, P) інтеграл ентропії має такий вигляд

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \left(\frac{c_p}{T} dT \right)_P + \int_{P_1}^{P_2} \left[\left(\frac{dv}{dT} \right)_P dP \right]_T. \quad (8)$$

Ентропія термодинамічної системи характеризує ступінь її впорядкованості. При дослідженні топології температурного поля сушильної камери розглянемо скінченні множини дискретних температурних станів. Кожному стану відповідають умовні позначення температур: $t_1, t_2, \dots, t_n$. Для отримання конкретного стану (t_i) необхідно мати апіорні статистичні дані. Оскільки одні стани трапляються частіше, а другі рідше, то у загальному випадку джерело інформації характеризується ансамблем U , що являє собою повну сукупність станів з ймовірностями їх появи:

$$U = \begin{bmatrix} t_1 & t_2 \dots t_n \\ P(t_1) & P(t_2) \dots P(t_n) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} t_1 & t_2 \dots t_n \\ P_1 & P_2 \dots P_n \end{bmatrix}. \quad (9)$$

При цьому

$$\sum_{i=1}^n P(t_i) = 1. \quad (10)$$

Ентропія, як міра неупорядкованості, виступає і як міра кількості інформації системи, що отримується при повному усуненні невизначеності відносно стану джерела. Для визначення міри множини станів необхідно щоб вона задовольняла таким вимогам:

- умові невід'ємності $f(M) \geq 0 \quad M \in 2^x$; (11)

- адитивності міри $f(M, N) = f(M) + f(N)$. (12)

Як міру невизначеності джерела інформації з рівномірними станами ансамблю (U) оберемо функцію $S(U)$, яка задовольняє аксіомам (11) та (12), оскільки $M \in N$ і $S(U) \geq 0$

$$S(U) = \log N. \quad (13)$$

Наприклад, при $N = 1$ міра невизначеності дорівнює нулю $S(U) = 0$ і тому можливий тільки один стан. При добутку станів (MN) її логарифм $\log(MN) = \log M + \log N$. При основі логарифма, рівному 2, одиниця невизначеності дорівнює одному біту. Ентропію температурного процесу у сушильній камері для нормального закону розподілу джерела можна розрахувати за такими розрахунковими співвідношеннями:

$$S_{(t)} = \log_2 \frac{\sigma_x \sqrt{2\pi \cdot j}}{\Delta t}, \quad (14)$$

де: Δt – крок квантування; σ_x – середнє квадратичне відхилення; j – інтервал квантування.

Очевидно, що $S_t \rightarrow 0$ при $\Delta t = 100\%$. Тобто, якщо $\Delta t \rightarrow 100\%$, то температура ототожнюється з деяким одним (як правило середнім) значенням і множина системи дорівнює одиниці. Отже, $\log S_{(t)} = \log_2 t = 0$. При зменшенні кроку квантування кількість станів і ентропія зростає

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} S_{(t)} = \infty. \quad (15)$$

Кількість отриманої інформації при контролі можна визначити через різницю початкової (S_n) та кінцевої ентропії (S_k)

$$j = S_n - S_k. \quad (16)$$

Якщо в результаті вимірювання повністю знімається невизначеність системи (тобто $S_k = 0$), то в цьому випадку кількість інформації дорівнює ентропії системи $j = S_n$. Але у випадку, коли контроль здійснюється з деяким запізненням (τ_3), то в момент отримання інформації невизначеність системи не дорівнюватиме нулю. Вона тільки з часом досягне значення S_n . Отже, проведення контролю з певним запізненням приводить до пониження інформативності досліджуваного процесу. При використанні одиночного контролю інформативність поступово (в часі) зменшується. Інтенсивність згасання інформаційного джерела в часі залежить від внутрішньої структури оберту і статистичних характеристик процесу. Для стаціонарного контрольованого випадку $t(\tau)$ постійними в часі лишаються математичне очікування і дисперсія

$$\begin{cases} m_t(t_1) = m_t = \text{const} \\ S_t(t_1) = S_t = \text{const} \end{cases}. \quad (17)$$

У цих умовах кореляційна функція контрольованого температурного процесу має такий вигляд

$$\begin{cases} R_t(t_1 + D_t) = R_t(t) \\ R_t(t_1) = R_t(0) = S_t(t_1) = \text{const} \end{cases} \quad (18)$$

Випадковий температурний процес має скінченну тривалість кореляції, тобто

$$\lim_{\tau \rightarrow 0} R_t(\tau) = 0. \quad (19)$$

Тому можна вважати, що існує (τ_0) , коли $R_t(\tau > \tau_0) = 0$. Враховуючи, що температурний процес $t(\tau)$ є випадковим і підлягає нормальному закону розподілу і його кореляційна функція затухає за період (τ_0) , тоді

$$\lim_{\tau \rightarrow \tau_0} S_k(t) = S_n(t). \quad (20)$$

Кількість інформації у цьому випадку

$$j = \frac{1}{2} \log(1 - r^2), \quad (21)$$

де r – коефіцієнт кореляції випадкового стаціонарного процесу $t(\tau)$, який вимірюється із запізненням (τ_3) . Коефіцієнт кореляції між $t(\tau)$ та $t(\tau - \tau_3)$, визначається за рівнянням

$$r = \frac{1}{\sigma_x^2} \iint [t(\tau) - m_t] \cdot [t_1(\tau - \tau_3) - m_1] \cdot f(t, t_1) \cdot dt \cdot dt_1 \quad (22)$$

або
$$r = \frac{K_t(\tau)}{K_t(0)} = R_t(\tau), \quad (23)$$

де: $R_t(\tau)$ – нормативна кореляційна функція, коли $R_t(0) = \sigma_t$; $K_t(\tau)$ – кореляційна функція $t(\tau)$.

Підставивши (2.29) в (2.28) отримаємо

$$j_t(\tau) = -\frac{1}{2} \log[t - R_t^2(\tau)]. \quad (24)$$

З рівняння (24):

- коли $R_t(t) = 1$, $j_1(t) = -\frac{1}{2} \log(j - 1) = -\frac{1}{2} \log 0 = 1$;
- коли $R_t(t) = 0$, $j_1(t) = -\frac{1}{2} \log(j - 0) = -\frac{1}{2} \log 1 = 0$.

Таким чином, якщо нормована кореляційна функція $R_t(\tau)$ змінюється в інтервалі $0 \leq R_t(\tau) \leq 1,0$, то зміна $j_1(\tau)$ є в інтервалі $0 \leq j_1(\tau) \leq 1,0$. Тобто, у процесі контролю температури маємо справу з двома системами: система в момент контролю – T_0 та система в момент контролю із запізненням T_3 . У випадку відсутності запізнення $(\tau_3 = 0)$ коефіцієнт кореляції $R_t(\tau) = 1,0$ та $j_t(\tau) = \infty$ система є повністю визначеною. Коли $0 < \tau_3 < \infty$ не вдається вимірювати (T_0) , про них судять за параметрами T_3 , які корелюють з T_0 . Коли $\tau_3 = \tau_0$ (τ_0 – глибина кореляційного зв'язку), кореляційний зв'язок порушується і системи T_0 та T_3 будуть функціонувати з незначними в інформаційному відношенні зв'язками між T та $j_t(\tau)$.

Контроль за температурним процесом у сушильній камері здійснюється послідовно багато разів. Це пов'язано з тим, що температурний процес є змінним у часі. При багаторазовому контролі ентропія змінюється періодично. У момент вимірювання зміна ентропії є ступінчатою.

У процесі дослідження температурних характеристик сушильних камер розрізняють дисперсію температурного процесу і дисперсію вимірювання температурного поля. Температурне поле в момент вимірювання має об'єктивно визначену дисперсію σ_t , незмінну для певного проміжку часу (ступені режиму та інтервалу зміни вологості деревини). У процесі зміни параметрів процесу, тобто при температурному процесі (σ'_t) дисперсія буде завжди більшою ніж у врівноваженому стані, тобто $\sigma'_t \geq \sigma_t$.

Отримуючи в момент вимірювання інформацію про температурний процес можна визначити ентропію об'єкта – $S_{mn}^1(t)$, початкову ентропію температурного процесу – $S_{mn}^0(t)$, отримати інформацію і збільшити ентропію до величини $S_{mn}(t)$. Співвідношення між ентропіями має такий вигляд

$$S_{mn}^1(t) > S_{mn}^0(t) > S_{mn}(t). \quad (29)$$

У цьому випадку ентропія відображає міру незнань у поведінці об'єкту і міру його невизначеності. Управління температурою у сушильній камері для конкретного стану задається температурним інтервалом t_n, t, t_g . Знаючи швидкість зміни температури $dt/d\tau$, можна передбачити і саму зміну температури

$$\Delta t = \left(\frac{dt}{d\tau} \right) \Delta \tau. \quad (28)$$

Таким чином, у процесі контролю можна визначити значення температури у даний час і ймовірність її зміни. Тобто у процесі контролю температури можна встановити не тільки стан системи у даний час, але і ймовірність її зміни в майбутньому, на наступний період. Ентропія у процесі контролю характеризується кількістю можливих станів об'єкту. Кількість інформації вимірювання має такий вигляд

$$S_t = S_{mn}(t) - S_{mn}^0(t). \quad (27)$$

Кількісна оцінка середньої ентропії процесу визначається за рівнянням коли $\tau < \tau_0$ з частотою контролю (ω) в інтервалі $[0,1]$:

$$S_{KT.P.} = S_{PT.P.} = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^m \left[\frac{1}{2} \int_0^{\tau} \log \left[(1 - R_i^2(\tau)) \cdot m \right] \cdot dt \right], \quad (28)$$

де: $S_{KT.P.}$, $S_{PT.P.}$ – відповідно, кінцева і початкова температура процесу; m – кількість станів; ω – частота контролю температурного поля, $\omega = T/m$.

УДК 674.001.5

Доц. М.І. Пилипчук, канд. техн. наук;
магістрант С.П. Степанчук – НЛТУ України, м. Львів

МЕТОДИКА ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕОМ

Розроблено прикладну програму у середовищі MS Excel для оброблення результатів математичного плану багатофакторного експерименту з метою одержання рівняння регресії другого порядку та графічної інтерпретації результатів дослідження у вигляді діаграм.

Ключові слова: методика, експеримент, програма ЕОМ, рівняння регресії, діаграма.