

дає змогу лише зменшити максимальне значення регулюючої змінної, але усі інші показники якості порівняно з традиційною схемою суто послідовної корекції є гіршими;

– загалом, як і слід було очікувати, якість регулювання у цифрових системах є дещо гіршою, ніж у неперервних, однак це погіршення є настільки незначним, що отримані під час моделювання перехідні процеси у цифрових АСР (рис. 3) повністю збігаються з процесами у відповідних неперервних системах (при звичайному для SIMULINK масштабі); отже, за умови відповідного вибору параметрів настроювання цифрового регулятора, включаючи й T_0 , можна забезпечити у цифровій АСР показники якості регулювання практично такі самі, як і в неперервній системі – прототипі .

Виконані нами дослідження показали також, що чутливість перехідних характеристик систем типу АСРЗц до варіацій параметрів об'єкта приблизно вдвічі менша, ніж при послідовній корекції, і це є додатковим аргументом, з врахуванням якого треба рекомендувати для практичного використання саме системи типу АСРЗц.

1. Олссон Г., Пиани Д. *Цифровые системы автоматизации и управления. Системы управления с ЭВМ.* – М., 1987. 2. Ковела І.М. *Дослідження схем послідовно-паралельної корекції АСР з реальними ПД-регуляторами* // *Автоматика, вимірювання та керування.* – 2000. – № 389. – С. 3–9. 3. Изерман Р. *Цифровые системы управления.* – М. 1984. 4. Ковела І.М. *Обґрунтування оптимальної структури цифрових ПІ-, ПД- та ПІД-алгоритмів* // *Вісн. НУ “Львівська політехніка”.* – Львів.. 2001. – № 433. – С. 11–22. 5. Воронов А.А. *Основы теории автоматического управления.* – М., 1980. 6. Ротач В.Я. *Программа определения передаточных функций объектов управления по переходным характеристикам* // *Теплоэнергетика.* 1995. – № 11. – С. 75–80. 7. Шавров А.В., Солдатов В.В. *Многокритериальное управление в условиях статистической неопределенности.* – М., 1990. 8. Kovela I. *Multicriteria Parametric Optimization of Automatic Control Systems with a Digital PID- Algorithms, Materialy III Konferencji III MSKAE'99, Czestochowa – Poraj, 1999. S. 291–292.*

УДК 519.853+635.8

Костянтин Янгурський, Ірина Атаманова, Володимир Фаст
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій

ПРОЦЕДУРА ОПТИМАЛЬНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ ПРИМУСОВОГО ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

© Янгурський Костянтин, Атаманова Ірина, Фаст Володимир, 2002

A method of the heat-carrier forced submission systems synthesis by criterion of minimization of the costs of energy expenditures for stabilization of a temperature mode of heat generating elements is offered.

Одним з ефективних і дешевих методів забезпечення теплового режиму є повітряне охолодження. Найпростіший варіант його реалізації – наскрізне продування холодним повітрям шаф та стояків. Але при такому підході по висоті конструктива виникає значний градієнт температури за рахунок значного нагріву охолоджуючого повітря блоками нижчих

рівнів. Тому не завжди вдається забезпечити нормальний тепловий режим на окремих рівнях, навіть за допомогою максимальної прогонки повітря. Для вирівнювання градієнта температури вкрай важливим є розподіл повітря між вузлами конструкції у кількостях, пропорційних до їх тепловиділень. Це зумовлює такі умови теплообміну між повітрям та елементами, які дають змогу підтримати температуру на допустимому рівні при мінімальних витратах холодоносія. Конструктивна реалізація цього принципу можлива лише при застосуванні системи повітророзподільних пристроїв, які спрямовують повітряні потоки в задані області та забезпечують подачу в них необхідної кількості холодоносія.

В основу уніфікації засобів забезпечення теплових режимів (ЗЗТР) покладений модульний принцип, реалізація якого приводить до декількох можливих альтернативних варіантів конструктивного виконання ЗЗТР. У зв'язку з цим виникає задача оптимального синтезу ЗЗТР, при розв'язанні якої можна виділити чотири етапи [1]:

1. Вибір критерію оптимальності.
2. Розробка математичної моделі як сукупності рівнянь, які пов'язують теплові та аеродинамічні характеристики ЕЗ з аналогічними характеристиками ЗЗТР.
3. Вибір методу оптимального розв'язання задачі і формування алгоритму для його числової реалізації.
4. Отримання оптимального розв'язку для проєктованої апаратури із заданими тепловими і аеродинамічними характеристиками.

Як критерій економічності приймається сума приведених витрат маси, об'єму і енергоспоживання:

$$Z = n \cdot N + m \cdot M + v \cdot V, \quad (1)$$

де N, M, V – відповідно енергоспоживання, маса, об'єм; n, m, v – вагові коефіцієнти.

Найкращим варіантом системи забезпечення теплових режимів буде система з мінімальним значенням Z .

Потужність втрат енергії в потоці повітря визначається за формулою:

$$N = 10^{-3} \cdot G_B \cdot h, \quad (2)$$

де G_B – об'ємні витрати повітря, м³/с; h – втрати тиску, Па.

Розробляючи математичну модель, необхідно враховувати комплекс факторів [1]:

- вимоги до параметрів охолоджуючого повітря;
- конструктивно - компоновальне виконання ЕЗ;
- питома теплонапруженість і зони розташування критичних в тепловому відношенні елементів;
- допустимий перегрів повітря в шафі, стояку;
- ступінь відповідності функціональних і конструктивних характеристик умовам експлуатації ЕЗ;

Перелічені фактори забезпечують вимоги, які висуваються до необхідних значень основних параметрів повітря для кожної конструктивної одиниці ЕЗ – витрат повітря і його температури.

Необхідні витрати повітря визначаються з умов підтримання допустимої температури корпусу елемента або допустимого нагріву повітря вздовж руху потоку в каналах конструкції.

При теплофізичному проєктуванні шафи з наскрізним продуванням задають максимально допустиму температуру корпусу $T_{\text{корп}}$ найкритичнішого в тепловому відношенні елемента, температуру повітря на вході в шафу T_B , сумарну потужність тепловиділення P_C ,

питоме теплове навантаження елемента $F_{ел}/S_{ел}$. Якщо “критичні” елементи розташовані у верхній зоні шафи, необхідні витрати повітря визначаються розв’язанням щодо G_B рівняння:

$$T_{корп} = T_B + \frac{P_C}{G'_B \cdot C_B \cdot \rho_B} + \frac{1}{k} \cdot \frac{P_{ел}}{S_{ел}} \cdot \left(\frac{\rho_B}{G'_B} \right)^m, \quad (3)$$

де C_B, ρ_B – питома теплоємність і густина повітря відповідно; k, m – відповідно коефіцієнт пропорційності і показник степеня в рівнянні $\alpha = k \cdot G_B^m$, яке апроксимує залежність коефіцієнта тепловіддачі α від витрат повітря (визначається за середньою швидкістю повітря в шафі).

При заданому максимально допустимому нагріві повітря ΔT_B кількість повітря, яка забезпечує цей нагрів, визначається з рівняння теплового балансу:

$$G''_B = \frac{P_C}{C_B \cdot \Delta T_B}. \quad (4)$$

В подальших розрахунках вибирається максимальне значення витрат повітря з двох його значень, обчислених за формулами (3), (4)

$$G_B = \max\{G'_B, G''_B\}. \quad (5)$$

При охолодженні шафи визначається її аеродинамічна характеристика $\Delta H = f(G_B)$, від якої залежать втрати тиску h .

Суміщення характеристики шафи з аеродинамічною характеристикою модуля охолодження дає можливість визначити витрати повітря та її вхідний опір, які використовуються для розрахунку за формулою (2) потужності втрат енергії в потоці повітря.

Під час проектування стояків та шаф ЕЗ з подачею повітря на різні рівні конструкції розв’язується інша задача. Її можна сформулювати як задачу вибору оптимального розподілу витрат теплоносія $G_i (i = \overline{1, n})$ у кожній зоні, при якому сумарні витрати

$G_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n G_i$ були б мінімальні, а температура корпусів елементів не перевищувала б допустимих значень. Як цільова функція вибирається сума модулів відхилень температур

“найкритичніших” елементів від допустимих значень:

$$\Phi = \sum_{i=1}^{n+1} |T_{j(i)} - T_{j(i)}^{дон}| c_{j(i)}. \quad (6)$$

де $T_{j(i)}$ – температура елемента j в зоні i ; c – ваговий коефіцієнт: $c=1$ при $T_j > T_j^{дон}$ і $c=0,2$ при $T_j < T_j^{дон}$.

Підсумовуючи в (6), для кожної зони вибирають тільки один “найкритичніший” елемент, для якого різниця $(T_j - T_j^{дон})$ максимальна. Витрати повітря в зонах G_i визначаються з умови мінімуму цільової функції $\Phi = \Phi(G_1, G_2, \dots, G_{n1})$. Розрахунок значень температур елементів отримують, розв’язуючи рівняння теплового балансу [2].

Для визначення аеродинамічного опору системи примусової подачі повітря можна скористатись такою залежністю:

$$\Delta H = \sum_{\tau=1}^T \Delta H_{м\tau} + \Delta H_{г\tau}, \quad (7)$$

де τ – елемент або вузол системи аеродинамічних комунікацій, який являє собою місцевий опір; $\Delta H_{г\tau}$ – аеродинамічний опір групи об’єктів, через які проходить теплоносій.

Для груп, які розташовані послідовно $\Delta H_{\text{гр}} = \sum_{i=1}^n \Delta H_{\text{гр}(i)}$.

Коли теплоносій поширюється паралельно по групах, то опір групи визначається максимальним опором елемента: $\Delta H_{\text{гр}} = \Delta H_{\text{гр}(\text{max})}$.

Після формалізації задачі побудови системи забезпечення теплових режимів необхідно вибрати метод її розв'язання. Вибір методу розв'язання визначається особливостями цільової функції і обмежень, які накладаються умовами задачі.

У разі малої розмірності задачі застосовується метод перебору допустимих варіантів. При великих розмірностях задачі внаслідок дискретності функції, що оптимізується, задача може бути принципово розв'язана тільки перебором варіантів. Найефективнішим методом спрямованого пошуку глобального екстремуму дискретної функції є метод динамічного програмування.

Отже, запропонований підхід дає змогу виконувати синтез систем примусової подачі теплоносія для стабілізації температурного режиму тепловиділяючих елементів за критерієм мінімізації енерговитрат.

1. Янгурський К.И., Атаманова И.В. Комплекс программ теплофизического проектирования РЭС и средств обеспечения тепловых режимов // В кн.: Методы и средства оценки и повышения надежности приборов, устройств и систем. – М., 1993.
2. Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. – Л., 1995.

УДК 681.2:621.384.3

Ігор Щур
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електроприводу і автоматизації промислових установок

ПРИЛАД-АВТОМАТ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІВ ІНФРАЧЕРВОНОЇ ОПРОМІНЕНОСТІ В СИСТЕМІ "ОПРОМІНЮВАЧ – ОБ'ЄКТ"

© Щур Ігор, 2002

The automatic device with microprocessor operating system which scans in step regime the irradiation field by the IR irradiator was elaborated. The results of measurement of irradiation in its different intervals, taken during this process, are integrated and graphically recorded by two-dimensional self-registrating device, which allows to form the universal characteristics of energetic and quality of irradiation.

Інфрачервоне (ІЧ) опромінення об'єктів широко застосовується в різних термо-радіаційних технологічних процесах [1]. Експериментальне дослідження технічних засобів поверхневого опромінення виконується, як правило, ручним вимірюванням полів опроміненості, які створюються на поверхні об'єкта під опромінювачем. Традиційна тривалість і складність таких досліджень, а також математичної обробки та інтерпретації отриманих масивів даних часто призводить до суб'єктивних результатів. Така ситуація зумовила необхідність автоматизації вказаних досліджень, що привело до ідеї створення приладу-