

*Ю.М. Безкороватний, О.А. Суценко, Я.В. Чернецький  
(Національний авіаційний університет, Україна)*

**Система термостатування бортового обладнання релейного типу**

*Запропоновано модернізацію закону керування системи термостатування бортового обладнання, що діє за релейним законом регулювання. Складено модель системи термостатування та проведено її імітаційне моделювання.*

**Системи термостатування з релейним законом регулювання**

Для коректної роботи приладового обладнання необхідно, щоб його температура задовольняла умові:

$$T_{min} \leq T \leq T_{max} \quad (1)$$

де  $T$  - поточна температура приладу,  $T_{min}$  - нижня границя робочого температурного діапазону,  $T_{max}$  - верхня границя робочого температурного діапазону.

Виходячи з умови (1) для релейного закону регулювання терморегулятора правила функціонування можна записати у вигляді наступної таблиці

*Таблиця 1*

Функції терморегуляції

Значення поточної температури	$T < T_{min}$ (переохолодж.)	$T_{min} \leq T \leq T_{max}$	$T_{max} < T$ (перегрів)
Функція для терморегуляції	Нагрів	—	Охолодження

Інтенсивний процес охолодження або нагрівання може спричинити геометричну деформацію складових елементів у конструкції приладу внаслідок нерівномірного прогріву конструкції та неоднорідного механічного температурного розширення, що може привести до деградації його експлуатаційних характеристик. Якщо газове середовище ззовні або у середині корпусу приладу не забезпечує герметичності чи інертності газового середовища, це може призвести до виникненню так званих точок роси всередині або ззовні приладу, що може привести до його непрацездатності та навіть виходу з ладу. Одним з шляхів запобігання вищезазначених явищ, на додаток до дотримання умови (1), є вимога забезпечувати певний градієнт температури, тобто додатково обмежувати швидкість зміни температури, щоб конструкція приладу прогрівалась більш рівномірно. Таким чином закон керування системи термостатування потребує додаткової модифікації.

**Модифікація закону релейного регулювання системи термостатування бортового обладнання**

В умови функціонування приладу додатково вводиться обмеження на граничну зміну градієнта температури вигляду

$$|dT| \leq dT_{max} \quad (2)$$

де  $dT$  - швидкість зміни температури конструкції,  $dT_{max}$  - максимальна допустима швидкість зміни температури.

В залежності від поточного температурного стану об'єкту термостатування функції для терморегуляції можна описати наступною таблицею

Таблиця 2

Функції терморегулятора

Функція для терморегуляції	$T < T_{min}$ (переохолод.)	$T_{min} \leq T \leq T_{max}$	$T_{max} < T$ (перегрів)
$dT < -dT_{max}$ (охолодження)	Нагрів	Нагрів	Нагрів
$-dT_{max} \leq dT \leq dT_{max}$	Нагрів	—	Охолодження
$dT_{max} < dT$ (нагрів)	Охолодження	Охолодження	Охолодження

Виходячи з аналізу таблиці 2 видно, що для одночасного забезпечення умов (1) та (2) може виникнути парадоксальна реакція — при стані переохолодження приладу є необхідність його додатково охолоджувати, а в стані перегріву потребується додатковий нагрів.

#### Математична модель системи терморегуляції приладу

Температура фізичного тіла залежить від кількості теплоти, яка йому надана та визначається співвідношенням вигляду

$$Q = C \cdot T \quad (3)$$

де  $Q$  — це кількість теплоти,  $T$  — абсолютна температура тіла,  $C$  — теплоємність тіла.

Якщо фізичне тіло складається з кількох складових частин з різною масою, внаслідок адитивних властивостей теплоємності фізичного тіла та теплоти, вираз для знаходження сумарної теплоємності буде мати вигляд

$$C = \sum_{i=1}^n c_i \cdot m_i \quad (4)$$

де  $c_i$  — питома теплоємність фрагменту тіла,  $m_i$  — маса фрагменту тіла.

А вираз для сукупної теплоти в системі можна представити у вигляді

$$Q = \sum_{j=1}^k \Delta Q_j \quad (5)$$

де  $\Delta Q_j$  - частина теплоти яка надана (або забрана) фізичному тілу.

Одним з теплових процесів є властивість теплопередачі — це кількість теплоти яка може пройти через тіло, яке виступає в якості термоінтерфейсу

$$\Delta Q = \lambda \cdot \frac{S}{L} \cdot \Delta T \quad (6)$$

де  $\lambda$  — це коефіцієнт теплопровідності,  $S$  — контактна площа термоінтерфейсу,  $L$  — товщина термоінтерфейсу,  $\Delta T = T_2 - T_1$  - різниця температур на сторонах термоінтерфейсу.

Розглянемо узагальнену структуру приладу, який потребує терморегуляції

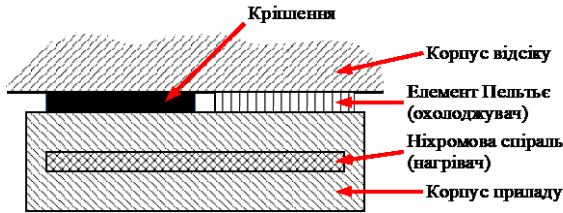


Рис 1. Структура приладу

Середовище, в якому функціонує приладове обладнання зазвичай має власну систему терморегуляції, але допуски на діапазони температур можуть бути ширшими, або відрізнятися від номінальної робочої температури приладу. Для локального охолодження приладу до робочої температури між корпусом приладу та відсіком, де він розташований, розміщено елемент Пельтьє [1]. Для запобігання переохолодження та підігріву в середині приладу розташовано РТС нагрівач. Прилад може підігріватися або охолоджуватися до температури внутрішнього відсіку за рахунок контакту в зоні кришлення.

Диференційні рівняння у формі Коші, за допомогою якої описуються процеси зміни кількості теплоти, що знаходиться у приладі мають вигляд

$$\frac{dQ}{dt} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot S_i \cdot (T_i - T_0) \quad (7)$$

де  $K_i$  — коефіцієнт теплопередачі,  $S_i$  — площа теплового контакту тіла з джерелом теплоти,  $T_0$  — температура тіла,  $T_i$  — температура джерела теплоти.

Узагальнену структурну схему математичної моделі системи термостатування релейного можна представити у наступному вигляді

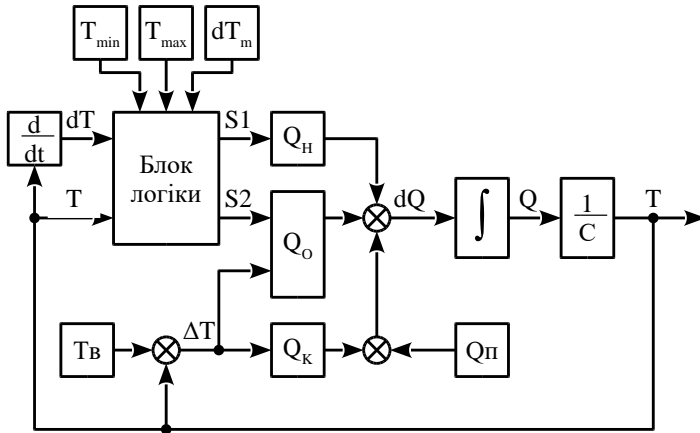


Рис. 2. Блок схема системи термостатування релейного типу

Згідно структурної схеми (рис. 2) було складено опис математичної моделі та проведено імітаційне моделювання системи термостатування.

В якості вихідних умов для моделювання були зроблені наступні допущення та обмеження:

- діапазон зміни температури у відсіку у межах від  $+15^{\circ}\text{C}$  до  $+30^{\circ}\text{C}$ ;
- діапазон для терморегуляції заданий межами від  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $+25^{\circ}\text{C}$ ;
- для зменшення кількості релейних перемикачів у закон формування сигналів керування було введено функцію гістерезису значенням  $1^{\circ}\text{C}$ ;
- час активної роботи приладу 1 хвилина у кожному температурному режимі.

Для моделювання були обрані наступні сценарії :

- температура у відсіку відповідає мінімально допустимій;
- температура у відсіку відповідає нижній межі робочої температури приладу;
- температура відсіку відповідає верхній межі робочої температури приладу;
- температура відсіку відповідає верхній межі допустимої температури.

### Висновки

Аналіз результатів імітаційного моделювання розробленої математичної моделі системи термостатування релейного типу з модифікованим законом керування показав її працездатність у всьому експлуатаційному температурному діапазоні.

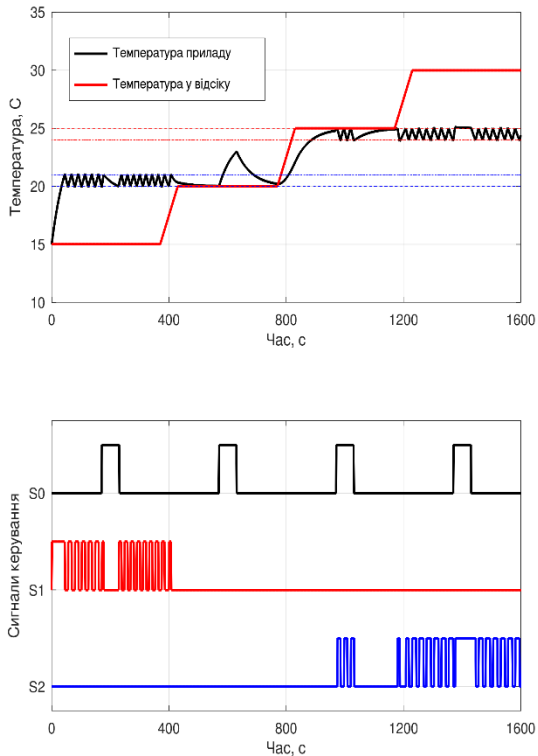


Рис. 3. Результати моделювання системи термостатування (сигнали: S0-активна робота приладу, S1-нагрів, S2-охолодження)

### Список літератури

1. A.H. Koevoets, H.J. Eggink, J. van der Sanden, J. Dekkers, T.A. M. Ruijl, "Optimal sensor configurin techniques for the compensation of thermo-elastic deformations in high-precision systems," 2007 13th International Workshop on Thermal Investigation of ICs and Systems (THERMINIC), 17-19 September, Budapest, Hungary.
2. G. Baxter and K. Kourousis, "Temperature controlled aircraft unit load devices: the technological response to growing global air cargo cool chain requirements," Journal of Technology, Management & Innovation, vol.10,issue1, 2015, pp.157–172.