



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **77637** (13) **U**  
(51) МПК  
**G05D 23/19** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

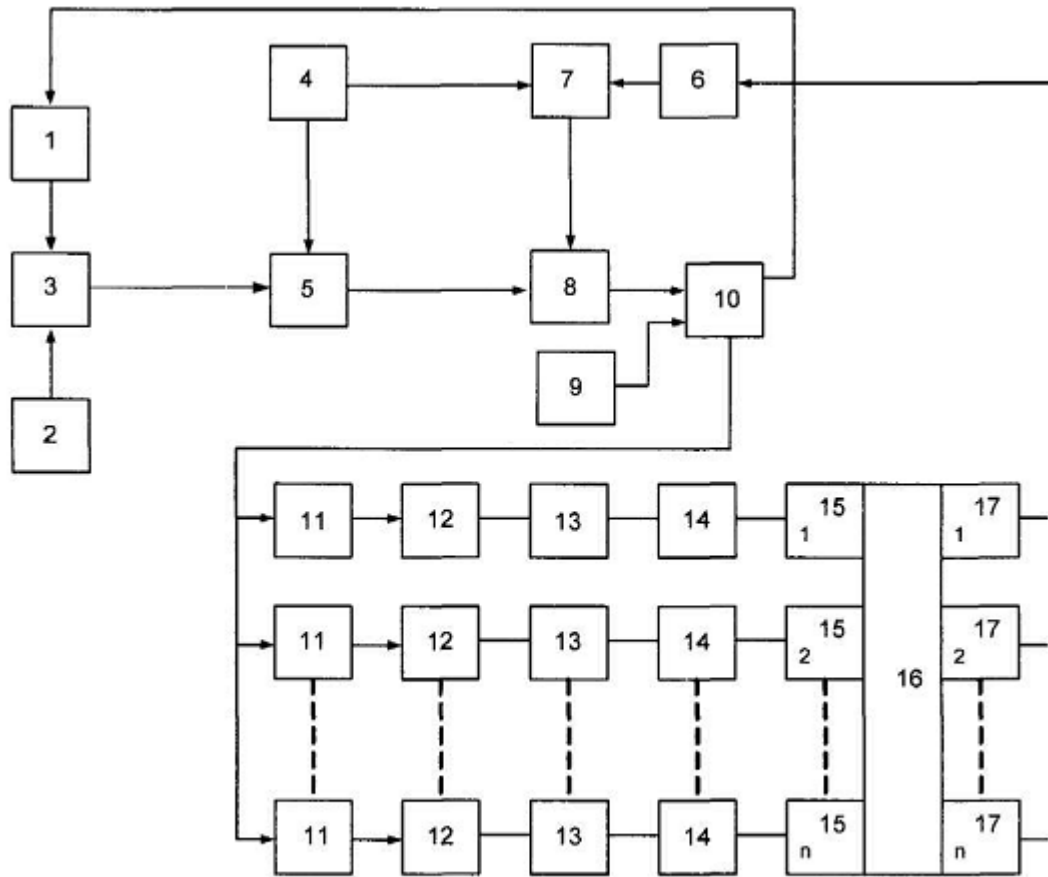
(21) Номер заявки: <b>u 2012 08542</b>	(72) Винахідник(и): <b>Савицький Сергій Михайлович (UA), Гапон Анатолій Іванович (UA), Качанов Петро Олексійович (UA), Римар Сергій Іванович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>10.07.2012</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.02.2013</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.02.2013, Бюл.№ 4</b>	(73) Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна (UA)</b>

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОГРАМНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИМ ОБ'ЄКТОМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

### (57) Реферат:

Пристрій для програмного регулювання тепловим об'єктом з розподіленими параметрами містить програмний задатчик, перший блок пам'яті, датчик температури об'єкта, аналого-цифровий перетворювач, перший елемент порівняння, суматор, цифро-аналоговий перетворювач, нагрівач, об'єкт регулювання, другий блок пам'яті, функціональний перетворювач, другий елемент порівняння, підсилювач потужності. Введено додатковий блок пам'яті для зберігання коефіцієнтів передавання теплового впливу для керування тепловим полем в початковий момент часу, обчислювач прогнозованої зміни температури, обчислювач значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку, містить n функціональних перетворювачів, n блоків пам'яті, n цифро-аналогових перетворювачів, n підсилювачів потужності, n нагрівачів і n датчиків температури.

UA 77637 U



Φir.

Корисна модель належить до пристроїв програмного регулювання температури середовищ або тіл, зокрема до пристроїв керування температурою об'єкта по заданій програмі, і може буде реалізований в системах терморегулювання в енергетиці, хімічній, металургійній, харчовій та інших областях промисловості.

5 Відомий пристрій для регулювання температури [1], що містить термостат з розташованими в його камері датчиком температури і нагрівачами термостата, задатчик температури, регулятор, суматор, датчик температури навколишнього середовища, розташований на нижній стінці термостата, причому датчик температури підключений до одного з входів суматора, підключеного виходом до одного з входів регулятора, інший вхід якого підключений до виходу задатчика температури, послідовно з'єднані аналого-цифровий перетворювач, перепрограмувальний запам'ятовуючий пристрій і цифро-аналоговий перетворювач, з'єднаний виходом з іншим входом суматора, а вихід датчика температури навколишнього середовища з'єднаний із входом цифро-аналогового перетворювача.

15 Недоліком вказаного пристрою є неможливість використання даного пристрою для управління об'єктом з розподіленими параметрами, невисока точність стабілізації температури.

Найбільш близьким по суті до запропонованого є спосіб програмного регулювання і пристрій для його здійснення [2], що включає генератор імпульсів, програмний задатчик, розподільник імпульсів, перший блок пам'яті, датчик температури об'єкта, аналого-цифровий перетворювач, перший елемент порівняння, суматор, цифро-аналоговий перетворювач, нагрівач, об'єкт регулювання, другий блок пам'яті, перший і другий помножувачі, перший, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий і восьмий регістри пам'яті, функціональний перетворювач для обчислення квадратного кореня з коду, другий елемент порівняння, підсилювач потужності.

Недоліком вказаного пристрою є неможливість використання даного пристрою для управління об'єктом з розподіленими параметрами.

25 В основу корисної моделі поставлена задача розробки пристрою для програмного регулювання теплового об'єкта з метою переходу від управління точковим об'єктом до управління температурним полем з підвищенням точності стабілізації температури.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для програмного регулювання тепловим об'єктом з розподіленими параметрами містить програмний задатчик, перший блок пам'яті, датчик температури об'єкта, аналого-цифровий перетворювач, перший елемент порівняння, суматор, цифро-аналоговий перетворювач, нагрівач, об'єкт регулювання, другий блок пам'яті, функціональний перетворювач, другий елемент порівняння, підсилювач потужності, згідно з корисною моделлю, включає додатковий блок пам'яті для зберігання коефіцієнтів передавання теплового впливу для керування тепловим полем в початковий момент часу, обчислювач прогнозованої зміни температури, обчислювач значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку, містить  $n$  функціональних перетворювачів,  $n$  блоків пам'яті,  $n$  цифро-аналогових перетворювачів,  $n$  підсилювачів потужності,  $n$  нагрівачів і  $n$  датчиків температури.

40 Завдяки введенню додаткового блока пам'яті, де зберігаються коефіцієнти передавання теплового впливу для керування тепловим полем в початковий момент часу, обчислювача прогнозованої зміни температури, обчислювача значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку,  $n$  функціональних перетворювачів,  $n$  блоків пам'яті,  $n$  цифро-аналогових перетворювачів,  $n$  підсилювачів потужності,  $n$  нагрівачів і  $n$  датчиків температури дозволяє програмно регулювати об'єктом з розподіленими параметрами та підвищує точність регулювання температури.

45 Реалізація корисної моделі пояснюється кресленням, де зображена структурна схема пристрою програмного регулювання тепловим об'єктом з розподіленими параметрами.

На кресл. представлена структурна схема, що реалізує запропонований пристрій. Система містить блок пам'яті 1, блок пам'яті 2, обчислювач прогнозованої зміни температури 3, програмний задатчик 4, елемент порівняння 5, аналого-цифровий перетворювач 6, елемент порівняння 7, суматор 8, блок пам'яті 9, обчислювач 10, функціональні перетворювачі 11, блоки пам'яті 12, цифро-аналогові перетворювачі 13, підсилювачі потужності 14, нагрівачі 15, об'єкт регулювання 16 і датчики температури 17.

55 Блоки сполучаються наступним чином, блок пам'яті 1, вихід якого з'єднаний з другим входом обчислювача 3, а вхід якого з'єднаний з першим виходом обчислювача 10; блок пам'яті 2, вихід якого з'єднаний з першим входом обчислювача 3; обчислювач прогнозованої зміни температури 3, перший і другий входи якого з'єднані з блоками пам'яті 1 і 2, а вихід якого з'єднаний з першим входом елемента порівняння 5; програмний задатчик 4, перший вихід якого з'єднаний з другим входом елемента порівняння 5, а другий вихід з'єднаний з першим входом елемента порівняння 5; блок пам'яті 9, вихід якого з'єднаний з другим входом обчислювача 3 і програмного

60

здатчика 4, а вихід якого з'єднаний з першим входом суматора 8; аналого-цифровий перетворювач 6, вхід якого з'єднаний з датчиками 17, вихід якого з'єднаний з другим входом елемента порівняння 7; елемент порівняння 7, входи якого з'єднані з другим виходом програмного задатчика 4 та виходом аналого-цифрового перетворювача 6, вихід якого з'єднаний з другим входом суматора 8; суматор 8, входи якого з'єднані з виходами елемента порівняння 5 та 7, а вихід якого з'єднаний з першим входом обчислювача 10; блок пам'яті 9, вихід якого з'єднаний з другим входом обчислювача 10; обчислювач 10, входи якого з'єднані з виходами суматора 8 та блока пам'яті 9, а виходи якого з'єднані з блоком пам'яті 1 (другий) та входом функціональних перетворювачів 11 (перший); функціональні перетворювачі 11, входи яких з'єднані з другим виходом обчислювача 10, а виходи з'єднані з входом блоків пам'яті 12; блоки пам'яті 12, входи яких з'єднані з виходами функціональних перетворювачів, а виходи яких з'єднані з цифро-аналоговими перетворювачами 13; цифро-аналогові перетворювачі 13, входи яких з'єднані з виходами блоків пам'яті 12, виходи яких з'єднані з підсилювачами 14; підсилювачі 14, входи яких з'єднані з виходами цифро-аналоговими перетворювачами 13, а виходи яких з'єднані з виходами нагрівачів 15; нагрівачі 15, входи яких з'єднані з виходами підсилювачів 14, а виходи яких з'єднані з об'єктом регулювання 16; об'єкт регулювання 16; датчики температури 17, входи яких з'єднані з об'єктом регулювання 16, а виходи яких з'єднані з входом аналого-цифровим перетворювачем 6.

Пристрій працює наступним чином:

На стадії підготовки початку роботи пристрою знімається перехідна характеристика об'єкта управління при подачі на нього теплового потоку у вигляді одиначної функції відомої амплітуди. Для  $n$  точок перехідної характеристики через інтервали часу  $\tau$  обчислюються значення коефіцієнтів  $K_{i,j,1}$ . У програмний задатчик 4 вводиться програма зміни температури об'єкта щодо початкової температури  $T_0$ .

У початковому стані блок пам'яті кодів приросту теплових потоків 1, які подаються на другий вхід обчислювача 3, та елементи пам'яті 12 обнулені. В блок пам'яті 9, де зберігаються коефіцієнти передавання теплового впливу для керування тепловим полем в початковий момент часу, які передаються на другий вхід обчислювача 10, занесені коди коефіцієнтів  $K_{i,j,1}$ .

В блок пам'яті 2, де зберігаються коефіцієнти передавання теплового впливу для керування тепловим полем, занесені коди коефіцієнтів  $K_{i,j,k}$ , які подаються на перший вхід обчислювача 3.

У блок програмного задатчика 4 занесена програма зміни температури об'єкта через інтервали часу  $\tau$  у вигляді коду приросту температури щодо початкової температури  $T_0$ . На другий вхід елемента порівняння 5 подається код приросту температури, відповідний кінцю першого інтервалу  $\tau$  програмного регулювання, на перший вхід елемента порівняння 7 - нульовий код, тобто код приросту температури об'єкта в початковий момент часу. На другий вхід елемента порівняння 7 подається код відхилення температури об'єкта від відхилення температури об'єкта від  $T_0$ . Після запуску системи програмного регулювання обчислювач 3 починає обчислення прогнозованої зміни температури об'єкта відносно  $T_0$  для кожної з  $n$  точок та вихідний код надходить на перший вхід елемента порівняння 5. Для обчислення величини управляючої дії, яка за проміжок часу  $\tau$  виведе об'єкт в точку, задану за програмою, пристрою необхідно обчислити, в яку точку вийде об'єкт під впливом дії, що управляє, яка мала місце до початку поточного інтервалу часу  $\tau$ . Тому прогнозована зміна температури в точці  $t = r \cdot \tau$  обчислюється пристроєм без урахування теплового потоку, який подається в мить, коли час перевищить  $t = r \cdot \tau$  за формулою:

$$\Delta T_{i,r}^p = \sum_{j=1}^n K_{i,j,m} \sum_{r=1}^{k-m} \Delta Q_{j,r} + \sum_{j=1}^n \sum_{r=k-m+1}^k \Delta Q_{j,r} \cdot K_{i,j,r}, (1)$$

де  $\Delta T_{i,r}^p$  - розрахункова прогнозована зміна температури об'єкта в  $i$ -ої точці в кінці  $r$ -го інтервалу часу під впливом сумарного теплового потоку від усіх нагрівачів, підведених до моменту  $t = r \cdot \tau$ ;  $\Delta Q_{j,r}$  - приріст дії теплового потоку, що управляє, на початок  $r$ -го інтервалу часу;

$$\sum_{j=1}^n K_{i,j,m} \sum_{r=1}^{k-m} \Delta Q_{j,r} - \text{приріст температури датчика викликане приростом теплових потоків всіх } n$$

нагрівачів, для яких час перехідних процесів минув, і коефіцієнти  $K_{i,j,r}$  не змінюються і рівні  $K_{i,j,m}$ ;

$$\sum_{j=1}^n \sum_{r=k-m+1}^k \Delta Q_{j,r} \cdot K_{i,j,r} - \text{приріст температури датчика викликане приростом теплових потоків}$$

5 всіх  $n$  нагрівачів, для яких час перехідних процесів не минув;  $K_{i,j,m}$  - відповідні коефіцієнти передавання теплового впливу для керування тепловим полем в момент часу  $m$ ;  $K_{i,j,r}$  - відповідні коефіцієнти передавання теплового впливу для керування тепловим полем в момент часу  $r$ ;  $m, r$  - номери інтервалів часу.

10 У елементі порівняння 5 вектор розрахункової температури порівнюється з вектором температури задатчика 4. Вектор різниці з відповідним знаком, рівний:

$$\{\Delta_1\} = \{\Delta T_r^3\} - \{\Delta T_r^p\}, \quad (2)$$

де  $\Delta T_r^3$  - приріст температури, потрібний за програмою, надходить на перший вхід суматора 8.

15 Під час виконання програми регулювання температура навколишнього середовища може змінюватися. Оскільки швидкість зміни температури навколишнього середовища звичайно значно менше швидкості температури об'єкта, перехідними процесами, обумовленими коливаннями зовнішньої температури, можна нехтувати. Проте, ці коливання можуть викликати помилку розузгодження, а також погрішності ЦАП і АЦП можуть викликати помилку  
20 розузгодження, яку необхідно враховувати. З цією метою на перший вхід елемента порівняння 7 подається код приросту температури задатчика 4 на кінець  $r$ -го інтервалу  $t$  і код приросту температури датчиків 17 на цей же момент часу, який надходить з виходу АЦП 6. Різницевий код, рівний:

$$\{\Delta_2\} = \{\Delta T_{r-1}^3\} - \{\Delta T_{r-1}^d\}, \quad (3)$$

25 де  $\{\Delta T_{r-1}^d\}$  - вектор приростів температури в точках, виміряних датчиками 17 і перетворених в АЦП 6, надходить на другий вхід суматора 8.

Оскільки зміну зовнішньої температури передбачити складно, і оскільки ця зміна за час  $t$  надзвичайно мала, приймаємо  $\Delta_2(r) = \Delta_2(r-1)$ . Виходячи з цього розраховується повне  
30 відхилення прогнозованої температури об'єкта 16 від температури задатчика 4. Сумарний вектор прогнозованих помилок розузгодження дії, що управляє, обчислює суматор 8 по формулі і передає на перший вхід обчислювача 10:

$$\{\Delta\} = \{\Delta_1\} + \{\Delta_2\} = \left( \{\Delta T_r^3\} - \{\Delta T_r^p\} \right) + \left( \{\Delta T_{r-1}^3\} - \{\Delta T_{r-1}^d\} \right). \quad (4)$$

35 Очевидно, що для  $k = 1$ , за умови, що температура в усіх точках простору не відрізнялася від  $T_0$ ,  $\{\Delta\} = \{\Delta T_k^3\}$ , оскільки решта всіх доданків рівна нулю.

Для того, щоб від початку  $r$ -го інтервалу часу до його кінця температура у всіх  $n$  точках поля стала рівною заданій за програмою, необхідно підвести додатково тепловий потік, який викличе рівну по величині, але протилежну по знаку зміну температури у всіх відповідних точках. Але на  
40 кожен точку поля впливають всі  $n$  нагрівачів одночасно. Тому для  $i$ -ої точки простору ( $1 < i < n$ ) ця зміна повинна задовольняти рівнянню:

$$\Delta Q_1 \cdot K_{i,1,r} + \Delta Q_2 \cdot K_{i,2,r} + \dots + \Delta Q_n \cdot K_{i,n,r} = -\Delta_i \cdot (5)$$

Таких рівнянь -  $n$ . Тому значення приростів теплових потоків для кожного з  $n$  нагрівачів  
45 обчислюється пристроєм шляхом сумісного вирішення системи рівнянь в обчислювачі 10:

$$\begin{cases} \Delta Q_1 \cdot K_{1,1,r} + \Delta Q_2 \cdot K_{1,2,r} + \dots + \Delta Q_n \cdot K_{1,n,r} = -\Delta_1 \\ \Delta Q_1 \cdot K_{2,1,r} + \Delta Q_2 \cdot K_{2,2,r} + \dots + \Delta Q_n \cdot K_{2,n,r} = -\Delta_2 \\ \dots \\ \Delta Q_1 \cdot K_{n,1,r} + \Delta Q_2 \cdot K_{n,2,r} + \dots + \Delta Q_n \cdot K_{n,n,r} = -\Delta_n \end{cases} \quad (6)$$

або в матричній формі:

$$[K_1] \cdot \{\Delta Q\} = -\{\Delta\} \quad (7)$$

5 де  $\{\Delta\}$  - матриця стовпець приростів температур наприкінці інтервалу часу  $\tau$ , що містить  $n$  елементів;  $\{\Delta Q\}$  - матриця рядок приростів теплового потоку на початку цього ж інтервалу часу  $\tau$ , які компенсують за час  $\tau$  відповідні прирости температур, що містить  $n$  елементів. Тому для обчислень використовується тільки коефіцієнти  $K_{i,j,1}$ .

В обчислювачі 10 вираховується значення приросту теплового потоку за формулою:

10

$$\{\Delta Q\} = \frac{\{\Delta\}}{[K_1]} \quad (8)$$

Після обчислення значення приросту теплового потоку  $\Delta Q_j$  ці значення підставляються в систему рівнянь (6), вирішення якої дає значення приростів повного теплового потоку  $Q_j$  нагрівачів 14. Потім, за формулою (9) обчислюється повний тепловий потік для кожного з  $n$  нагрівачів в обчислювачі 10:

15

$$Q_i = \sum_{r=1}^k \Delta Q_j \quad (9)$$

Значення кодів приросту теплового потоку  $\Delta Q_{j,k}$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $k = 1, 2, \dots, \infty$ ) нагрівача на початок  $j$ -го інтервалу часу  $i$  сумарного теплового потоку  $\Delta Q_j$  ( $j = 0, 1, \dots, n$ ) обчислюється в обчислювачі 20 10, після чого коди приросту  $\Delta Q_{j,k}$  пересилається в блок пам'яті 1, а коди сумарного теплового потоку надходять на входи відповідних функціональних перетворювачів 11. З виходів функціональних перетворювачів коди, пропорційні струму нагрівачів записуються в елементи пам'яті 12, перетворюються цифро-аналоговими перетворювачами 13 в аналоговий сигнал, який посилюється підсилювачами потужності 14 і подаються на нагрівачі 15.

20

25

Під впливом підведеного до об'єкта тепла об'єкт 16 починає змінювати свою температуру на  $\Delta T_1^3$ . Після запису коду в елементи пам'яті 12 система починає обчислювати значення дії, що управляє, для інтервалу часу від  $t = r \cdot \tau$  до  $t = (i+1) \cdot \tau$ . Процес розрахування відновлюється, як тільки, закінчиться  $i$ -ий інтервал часу.

30

Позитивний ефект, який досягається при використанні корисної моделі: можливість управління тепловим об'єктом з розподіленими параметрами, підвищення точності регулювання температури.

Джерела інформації:

1. Патент UA № 17919, МПК G05B23/19
2. Патент SU № 1464147 МПК G05D23/19.

35

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

40

Пристрій для програмного регулювання тепловим об'єктом з розподіленими параметрами, що містить програмний задатчик, перший блок пам'яті, датчик температури об'єкта, аналого-цифровий перетворювач, перший елемент порівняння, суматор, цифро-аналоговий перетворювач, нагрівач, об'єкт регулювання, другий блок пам'яті, функціональний перетворювач, другий елемент порівняння, підсилювач потужності, який **відрізняється** тим, що введено додатковий блок пам'яті для зберігання коефіцієнтів передавання теплового впливу для керування тепловим полем в початковий момент часу, обчислювач прогнозованої зміни

температури, обчислювач значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку, n функціональних перетворювачів, n блоків пам'яті, де зберігаються коди, пропорційні струму нагрівачів, n цифро-аналогових перетворювачів, n підсилювачів потужності, n нагрівачів і n датчиків температури, перший блок пам'яті, вихід якого з'єднаний з другим входом обчислювача прогнозованої зміни температури, а вхід якого з'єднаний з першим виходом обчислювача значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку, другого блока пам'яті, вихід якого з'єднаний з першим входом обчислювача прогнозованої зміни температури, обчислювач прогнозованої зміни температури, перший і другий входи якого з'єднані з першим і другим блоками пам'яті, а вихід якого з'єднаний з першим входом першого елемента порівняння, програмний задатчик, перший вихід якого з'єднаний з другим входом першого елемента порівняння, а другий вихід з'єднаний з першим входом другого елемента порівняння, перший елемент порівняння, входи якого з'єднані з виходами обчислювача прогнозованої зміни температури і програмного задатчика, а вихід якого з'єднаний з першим входом суматора, аналого-цифровий перетворювач, вхід якого з'єднаний з датчиками температури, вихід якого з'єднаний з другим входом другого елемента порівняння, другий елемент порівняння, входи якого з'єднані з другим виходом програмного задатчика та виходом аналого-цифрового перетворювача, вихід якого з'єднаний з другим входом суматора, суматор, входи якого з'єднані з виходами першого і другого елемента порівняння, а вихід якого з'єднаний з першим входом обчислювача значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку, третій блок пам'яті для зберігання коефіцієнтів передавання теплового впливу для керування тепловим полем в початковий момент часу, вихід якого з'єднаний з другим входом обчислювача значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку, обчислювач значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку, входи якого з'єднані з виходами суматора та третім блоком пам'яті для зберігання коефіцієнтів передавання теплового впливу для керування тепловим полем в початковий момент часу, а виходи якого з'єднані з першим блоком пам'яті (перший вихід) та входом функціональних перетворювачів (другий вихід), функціональні перетворювачі, входи яких з'єднані з другим виходом обчислювача значення кодів приросту теплового потоку і сумарного теплового потоку, а виходи з'єднані з входом блоків пам'яті, де зберігаються коди, пропорційні струму нагрівачів, блоки пам'яті, де зберігаються коди, пропорційні струму нагрівачів, входи яких з'єднані з виходами функціональних перетворювачів, а виходи яких з'єднані з цифро-аналоговими перетворювачами, цифро-аналогові перетворювачі, входи яких з'єднані з виходами блоків пам'яті, де зберігаються коди, пропорційні струму нагрівачів, виходи яких з'єднані з підсилювачами; підсилювачі, входи яких з'єднані з виходами цифро-аналоговими перетворювачами, а виходи яких з'єднані з входами нагрівачів, нагрівачі, входи яких з'єднані з виходами підсилювачів, а виходи яких з'єднані з об'єктом регулювання, об'єкт регулювання, до якого підключені нагрівачі та датчики температури, датчики температури, входи яких з'єднані з об'єктом регулювання, а виходи яких з'єднані з входом аналого-цифрового перетворювача.

