



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 159386

(13) U

(51) МПК

G06G 7/48 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

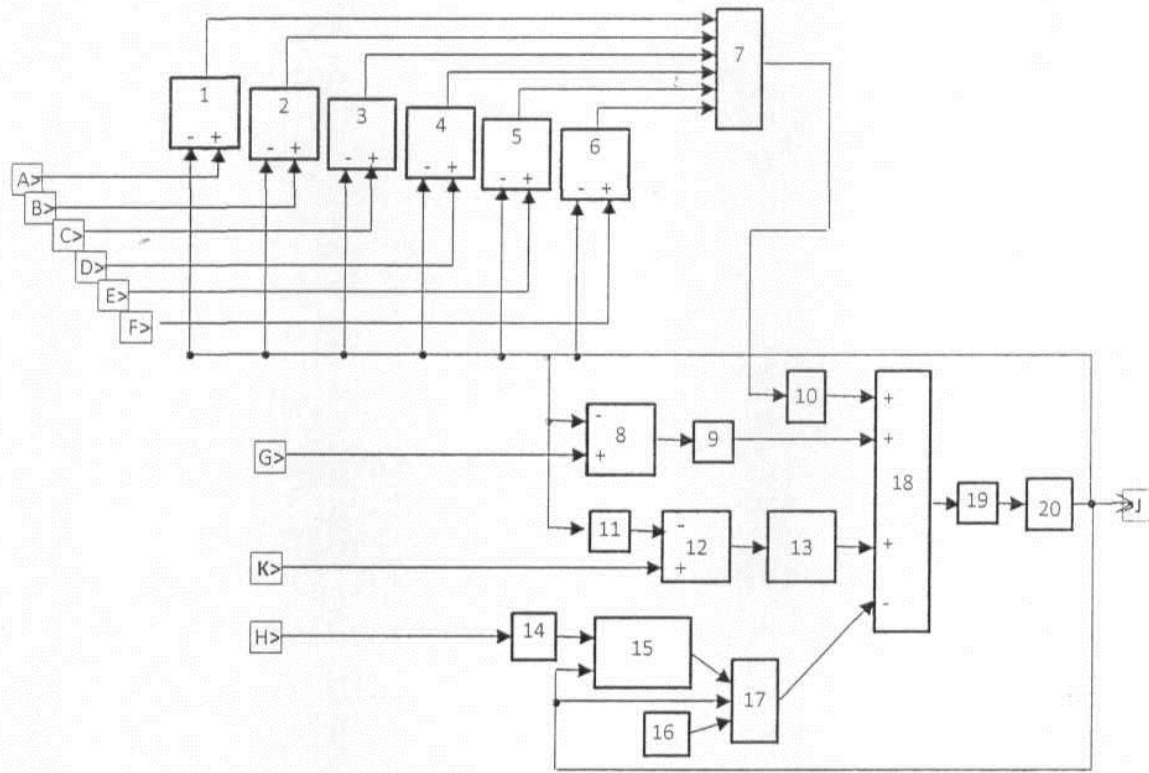
(21) Номер заявки: u 2024 04007	(72) Винахідник(и): Дубовой Володимир Михайлович (UA), Юхимчук Марія Сергіївна (UA), Лещенко Юлія Ярославівна (UA), Стрембіцький Павло Павлович (UA)
(22) Дата подання заявки: 09.08.2024	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 22.05.2025	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 21.05.2025, Бюл.№ 21	(73) Володілець (володільці): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРОВАНОГО ЕЛЕМЕНТА РОЗПОДІЛЕНОГО ТЕПЛОВОГО ВИРОБНИЧОГО ОБ'ЄКТА

(57) Реферат:

Пристрій для моделювання керованого елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта включає вісім двовходових суматорів, інтегратор, п'ять блоків множення на постійний коефіцієнт, шестивходовий суматор, чотиривходовий суматор, блок визначення меншого з двох значень, блок задання константи "0", комутатор і блок виконання пропорційно-інтегрально-диференціального перетворення.

UA 159386 U



Корисна модель належить до аналогових обчислювальних машин і може бути використана в моделюючих пристроях для теплових процесів в розподілених виробничих об'єктах.

За аналог вибрано базовий блок моделі теплопровідності в розподіленому об'єкті [М.М. Асадулаги, И.М. Першин. Способы моделирования распределенных систем при случайных воздействиях. - Современная наука и инновации, 2017. - Выпуск 1. - 27-32]. Модель містить чотири базові блоки. Базовий блок прототипу містить суматор, інтегратор і три блоки множення на постійний коефіцієнт, причому виходи першого і другого блоків множення на постійний коефіцієнт з'єднані, відповідно, з першим і другим входами "+" суматора, а його вихід з'єднаний з входом інтегратора, вихід інтегратора з'єднаний з входом третього блока множення на постійний коефіцієнт, вихід третього блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з третім входом "-" суматора, значення теплових потоків від сусідніх блоків подаються на входи першого і другого блоків множення на постійний коефіцієнт, а виходом базового блока є вихід інтегратора.

Недоліками аналога є вузька область застосування - виключно для лінійних одновимірних об'єктів, а також неможливість моделювання процесу керування станом елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, що обмежує функціональні можливості пристрою.

Як найближчий аналог вибрано пристрій для моделювання пасивного елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта патент України № 148246, МПК G06G 7/48, бюл. № 29, 2021 р., який містить вісім двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", інтегратор, три блоки множення на постійний коефіцієнт, шестивходовий суматор з входами "+", блок визначення меншого з двох значень, блок задання константи "0" і комутатор, причому вихід першого двовходового суматора з'єднаний з входом першого блока множення на постійний коефіцієнт, вихід першого блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з другим входом "+" двовходового суматора з двома входами "+", вихід якого з'єднаний з входом "+" восьмого двовходового суматора з одним входом "+" і одним входом "-", вихід восьмого двовходового суматора з одним входом "+" і одним входом "-" з'єднаний з входом другого блока множення на постійний коефіцієнт, вихід другого блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з входом інтегратора, вихід інтегратора з'єднаний з входом "-" першого, другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", другим входом блока визначення меншого з двох значень і другим "керуючим" входом комутатора, виходи другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-" з'єднані з відповідними входами шестивходового суматора, вихід шестивходового суматора з'єднаний з першим входом "+" двовходового суматора з двома входами "+", вихід третього блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з першим входом блока визначення меншого з двох значень, вихід якого з'єднаний з першим входом комутатора, вихід блока задання константи "0" з'єднаний з третім входом комутатора, вихід комутатора з'єднаний з входом "-" восьмого двовходового суматора з одним входом "+" і одним входом "-", перший вхід пристрою з'єднаний з входом "+" першого суматора, другий вхід пристрою з'єднаний з входом третього блока множення на постійний коефіцієнт, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий, восьмий входи пристрою з'єднані, відповідно, з входами "+" другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", виходом пристрою є вихід інтегратора, коефіцієнт першого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює теплопровідності оболонки об'єкта, коефіцієнт другого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює теплопровідності пасивного елемента об'єкта, поділений на його теплоємність, коефіцієнт третього блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює питомим витратам теплової енергії на одиницю сировини.

Недоліком найближчого аналога є неможливість моделювання процесу керування станом елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, що обмежує функціональні можливості пристрою.

В основу корисної моделі поставлена задача створення такого пристрою для моделювання розподіленого теплового виробничого об'єкта, в якому за рахунок введення нових елементів та з'єднань з'являється можливість моделювання процесу керування розподіленим тепловим виробничим об'єктом, що сприяє розширенню функціональних можливостей пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрій для моделювання пасивного елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, який містить вісім двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", інтегратор, три блоки множення на постійний коефіцієнт, шестивходовий суматор з входами "+", блок визначення меншого з двох значень, блок задання константи "0" і комутатор, причому вихід першого двовходового суматора з'єднаний з входом першого блока множення на постійний коефіцієнт, вихід другого блока множення на постійний

коефіцієнт з'єднаний з входом інтегратора, вихід інтегратора з'єднаний з входом "-" першого, другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", другим входом блока визначення меншого з двох значень і другим "керуючим" входом комутатора, виходи першого другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-" з'єднані з відповідними входами шестивходового суматора, вихід третього блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з першим входом блока визначення меншого з двох значень, вихід якого з'єднаний з першим входом комутатора, вихід блока задання константи "0" з'єднаний з третім входом комутатора, перший вхід пристрою з'єднаний з входом "+" першого двовходового суматора, другий вхід пристрою з'єднаний з входом третього блока множення на постійний коефіцієнт, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий, восьмий входи пристрою з'єднані, відповідно, з входами "+" другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", виходом пристрою є вихід інтегратора, коефіцієнт множення першого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює теплопровідності оболонки об'єкта, коефіцієнт третього блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює питомим витратам теплової енергії на одиницю сировини, введено чотириходовий суматор з трьома входами "+" і одним входом "-", два блоки множення на постійний коефіцієнт і блок виконання пропорційно-інтегрально-диференціального перетворення, причому вихід шестивходового суматора з'єднаний з входом четвертого блока множення на постійний коефіцієнт, вихід якого з'єднаний з першим входом "+" чотириходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-", вихід першого блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з другим входом "+" чотириходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-", вихід інтегратора з'єднаний з входом п'ятого блока множення на постійний коефіцієнт, вихід якого з'єднаний з входом "-" восьмого двовходового суматора з одним входом "+" і одним входом "-", вихід восьмого двовходового суматора з'єднаний з входом блок виконання пропорційно-інтегрально-диференціального перетворення, причому дев'ятий вхід пристрою з'єднаний з входом "+" восьмого двовходового суматора, вихід якого з'єднаний з третім входом "+" чотириходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-", вихід комутатора з'єднаний з входом "-" чотириходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-", вихід якого з'єднаний з входом другого блока множення на постійний коефіцієнт, дев'ятим входом пристрою є вхід "+" восьмого двовходового суматора, коефіцієнт другого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює величині, оберненій до теплоємності елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, коефіцієнт четвертого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює теплопровідності елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, коефіцієнт п'ятого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює коефіцієнту передачі сенсора системи керування елементом розподіленого теплового виробничого об'єкта.

На кресленні представлено принципову схему пристрою для моделювання керованого елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта.

Пристрій містить вісім двовходових суматорів з одним входом "i" і одним входом "-" 8,1,2,3,4,5,6,12, відповідно, інтегратор 20, п'ять блоків множення на постійний коефіцієнт 9,19,14,10,11, відповідно, шестивходовий суматор з входами "+" 7, блок визначення меншого з двох значень 15, блок задання константи "0" 16 і комутатор 17, чотириходовий суматор з трьома входами "+" і одним входом "-" 18, блок виконання пропорційно-інтегрально-диференціального перетворення 13, причому вихід першого двовходового суматора 8 з'єднаний з входом першого блока множення на постійний коефіцієнт 9, вихід другого блока множення на постійний коефіцієнт 19 з'єднаний з входом інтегратора 20, вихід інтегратора 20 з'єднаний з входом "-" першого, другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-" 8,1-6, другим входом блока визначення меншого з двох значень 15 і другим "керуючим" входом комутатора 17, виходи другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-" 1-6 з'єднані з відповідними входами шестивходового суматора 7, вихід третього блока множення на постійний коефіцієнт 14 з'єднаний з першим входом блока визначення меншого з двох значень 15, вихід якого з'єднаний з першим входом комутатора 17, вихід блока задання константи "0" 16 з'єднаний з третім входом комутатора 17, перший вхід G пристрою з'єднаний з входом "+" першого двовходового суматора 8, другий вхід H пристрою з'єднаний з входом третього блока множення на постійний коефіцієнт 14, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий, восьмий A-F входи пристрою з'єднані, відповідно, з входами "+" другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-" 1-6, дев'ятий вхід пристрою (K) з'єднаний з входом "+" восьмого двовходового суматора 12, вихід шестивходового суматора 7 з'єднаний з входом четвертого блока множення

на постійний коефіцієнт 10, вихід якого з'єднаний з першим входом "+" чотиривходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-" 18, вихід першого блока множення на постійний коефіцієнт 9 з'єднаний з другим входом "+" чотиривходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-" 18, вихід інтегратора 20 з'єднаний з входом п'ятого блока множення на постійний коефіцієнт 11, вихід якого з'єднаний з входом "-" восьмого двовходового суматора з одним входом "+" і одним входом "-" 12, вихід восьмого двовходового суматора 12 з'єднаний з входом блока виконання пропорційно-інтегрально-диференціального перетворення 13, вихід якого з'єднаний з третім входом "+" чотиривходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-" 18, вихід комутатора 17 з'єднаний з входом "-" чотиривходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-" 18, вихід якого з'єднаний з входом другого блока множення на постійний коефіцієнт 19, дев'ятим входом пристрою є вхід "+" восьмого двовходового суматора 12, виходом пристрою J є вихід інтегратора 20, коефіцієнт множення першого блока множення на постійний коефіцієнт 9 дорівнює теплопровідності оболонки об'єкта, коефіцієнт третього блока множення на постійний коефіцієнт 14 дорівнює питомим витратам теплової енергії на одиницю сировини, коефіцієнт другого блока множення на постійний коефіцієнт 19 дорівнює величині, оберненій до теплоємності елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, коефіцієнт четвертого блока множення на постійний коефіцієнт 10 дорівнює теплопровідності елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, коефіцієнт п'ятого блока множення на постійний коефіцієнт 11 дорівнює коефіцієнту передачі сенсора системи керування елементом розподіленого теплового виробничого об'єкта.

Пристрій працює наступним чином.

На входи A-F пристрою надходять значення температури оточуючих елементів тривимірного об'єкта. При меншій кількості оточуючих елементів незадіяні входи оточуючих елементів замикаються на вихід J. На вхід G надходить значення температури зовнішнього середовища. Якщо пасивний елемент розподіленого теплового виробничого об'єкта не межує із зовнішнім середовищем, то вхід G з'єднується з виходом J. На вхід H надходить значення кількості вхідної сировини. Якщо вхідна сировина не надходить до пасивного елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, то на вхід H подається значення "0".

На вхід K подається значення уставки $T_{уст}$ - заданого стану (температури) розподіленого теплового виробничого об'єкта.

Стан керованого елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта характеризується значенням на виході J, який приєднаний до виходу інтегратора 20, і дорівнює його температурі T_0 . Температура T_0 змінюється в результаті накопичення тепла Q в пасивному елементі розподіленого теплового виробничого об'єкта:

$$Q = \int_0^t \left[\sum_{i=1}^6 (T_i - T_0) + \eta(T_{зс} - T_0) - \min(k_3, x, T_0) + T_R(T_{уст}, T_0) \right] dt,$$

де T_i - температури оточуючих елементів розподіленого теплового виробничого об'єкта; $T_{зс}$ - температура зовнішнього середовища; x - кількість сировини; λ - теплопровідність середовища розподіленого теплового виробничого об'єкта; η - теплопровідність оболонки розподіленого теплового виробничого об'єкта, яка відокремлює його від зовнішнього середовища; k_3 - питомі витрати теплової енергії на одиницю сировини; $T_R(T_{уст}, T_0)$ - рівняння контуру керування, який утворений блоком множення на постійний коефіцієнт 11, восьмим двовходовим суматором з одним входом "+" і одним входом "-" 12 і блоком виконання пропорційно-інтегрально-диференціального перетворення (ПІД-регулятором) 13:

$$T_R = k_{R1}(T_{уст} - k_4 T_0) + k_{R2} \int (T_{уст} - k_4 T_0) dt + k_{R3} \frac{d(T_{уст} - k_4 T_0)}{dt},$$

де k_{R1} , k_{R2} , k_{R3} - параметри налаштування ПІД-регулятора.

Моделювання функції накопичення теплової енергії у елементі розподіленого теплового виробничого об'єкта виконує інтегратор 20. Значення температури елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта на виході інтегратора 20:

$$T_0 = \frac{1}{c} Q,$$

де $\frac{1}{c}$ - коефіцієнт другого блока множення на постійний коефіцієнт 19; c - теплоємність

елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта.

Суматори 1-6 розраховують різниці температур $(T_i - T_0)$ елемента, який моделюється, і оточуючих елементів. Ці різниці надходять на входи суматора 7, який обчислює значення $\sum_{i=1}^6 (T_i - T_0)$.

5 Шість членів у сумі відповідають шести напрямкам взаємодії з сусідніми елементами

у 3-вимірному просторі. Суматор 8 обчислює різницю температур елемента, який моделюється, і зовнішнього середовища $(T_{ac} - T_0)$. Перший блок множення на постійний коефіцієнт 9 множить різницю температур на теплопровідність оболонки розподіленого теплового виробничого об'єкта η , результатом чого є значення теплового потоку через оболонку.

10 Третій блок множення на постійний коефіцієнт 14 множить значення кількості сировини, яка надходить до пасивного елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта в одиницю часу, на k_3 - питомі витрати теплової енергії на одиницю сировини. Результатом є необхідний для виробництва тепловий потік. Блок визначення меншого з двох значень 15 порівнює необхідний для виробництва тепловий потік, значення якого надходить на перший вхід з наявним тепловим потоком, значення якого надходить на другий вхід, і на виході блока 15 отримуємо менше з двох значень.

Суматор 18 підраховує загальний баланс теплових потоків, які надходять від ПІД-регулятора, від оточуючих елементів, від зовнішнього середовища і витрачаються на виробництво. Множенням на постійний коефіцієнт k_2 за допомогою другого блока множення на постійний коефіцієнт 19 враховуються теплоємність елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта. Множенням на постійний коефіцієнт λ за допомогою четвертого блока множення на постійний коефіцієнт 10 враховується теплопровідність середовища розподіленого теплового виробничого об'єкта.

25 Комутатор 17 забезпечує нульові початкові умови моделювання, які задаються блоком 16 задавання константи "0".

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30 Пристрій для моделювання керованого елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, що містить вісім двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", інтегратор, три блоки множення на постійний коефіцієнт, шестивходовий суматор з входами "+", блок визначення меншого з двох значень, блок задання константи "0" і комутатор, причому вихід першого двовходового суматора з'єднаний з входом першого блока множення на постійний коефіцієнт, вихід другого блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з входом інтегратора, вихід інтегратора з'єднаний з входом "-" першого, другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", другим входом блока визначення меншого з двох значень і другим "керуючим" входом комутатора, виходи першого другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-" з'єднані з відповідними входами шестивходового суматора, вихід третього блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з першим входом блока визначення меншого з двох значень, вихід якого з'єднаний з першим входом комутатора, вихід блока задання константи "0" з'єднаний з третім входом комутатора, перший вхід пристрою з'єднаний з входом "+" першого двовходового суматора, другий вхід пристрою з'єднаний з входом третього блока множення на постійний коефіцієнт, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий, восьмий входи пристрою з'єднані, відповідно, з входами "+" другого, третього, четвертого, п'ятого, шостого, сьомого двовходових суматорів з одним входом "+" і одним входом "-", виходом пристрою є вихід інтегратора, коефіцієнт множення першого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює теплопровідності оболонки об'єкта, коефіцієнт третього блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює питомим витратам теплової енергії на одиницю сировини, який **відрізняється** тим, що в нього введено чотиривходовий суматор з трьома входами "+" і одним входом "-", два блоки множення на постійний коефіцієнт і блок виконання пропорційно-інтегрально-диференціального перетворення, причому вихід шестивходового суматора з'єднаний з входом четвертого блока множення на постійний коефіцієнт, вихід якого з'єднаний з першим входом "+" чотиривходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-", вихід першого блока множення на постійний коефіцієнт з'єднаний з другим входом "+" чотиривходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-", вихід інтегратора з'єднаний з входом п'ятого блока множення на постійний коефіцієнт, вихід

якого з'єднаний з входом "-" восьмого двовходового суматора з одним входом "+" і одним входом "-", вихід восьмого двовходового суматора з'єднаний з входом блока виконання пропорційно-інтегрально-диференціального перетворення, причому дев'ятий вхід пристрою з'єднаний з входом "+" восьмого двовходового суматора, вихід якого з'єднаний з третім входом "+" чотиривходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-", вихід комутатора з'єднаний з входом "-" чотиривходового суматора з трьома входами "+" і одним входом "-", вихід якого з'єднаний з входом другого блока множення на постійний коефіцієнт, дев'ятим входом пристрою є вхід "+" восьмого двовходового суматора, коефіцієнт другого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює величині, оберненій до теплоємності елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, коефіцієнт четвертого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює теплопровідності елемента розподіленого теплового виробничого об'єкта, коефіцієнт п'ятого блока множення на постійний коефіцієнт дорівнює коефіцієнту передачі сенсора системи керування елементом розподіленого теплового виробничого об'єкта.

