

УДК 519.6:697.245

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ СИНТЕЗУ СИСТЕМИ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ТРУБЧАСТИМИ ГАЗОВИМИ НАГРІВАЧАМИ У БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

ЧОРНОМОРЕЦЬ Г. Я. ^{1*}, асистент,
ПРОДОВ В. Ф. ², д.т.н, проф.

^{1*} Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: ChHYa@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

² Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

Анотація. Мета. Для вибору оптимальних параметрів проектування системи автономного теплопостачання з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях необхідно вирішити задачу синтезу. Для цього необхідно розробити математичну модель всієї системи теплопостачання з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях, як гідравлічного ланцюга з неізотермічною течією і теплообміном та методи розв'язання задач аналізу та синтезу цих систем для повітряного опалення, що підвищує ефективність капіталовкладень у будівництві. **Методика.** При проектуванні та конструюванні трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції виникає потреба вибору цілого ряду параметрів, що визначають оптимальні показники його роботи. Для пошуку рішень задачі синтезу (оптимізації) запропоновано використовувати алгоритм еволюційного пошуку найбільш переважних рішень. **Результати.** Сформульовано задачу оптимізації системи автономного теплопостачання з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях. Для рішення даної задачі розроблено алгоритм використовуючи відбір із залученням алгоритму еволюційного пошуку найбільш переважних рішень. **Наукова новизна.** Розроблено метод розв'язання задачі синтезу системи автономного теплопостачання з трубчастими газовими нагрівачами, що розташовані у будівельних конструкціях, використовуючи алгоритм еволюційного пошуку найбільш переважних рішень. Результати даного рішення дозволять поліпшити якість проектних робіт та роботу самих нагрівачів. Наведена збіжність рішень задачі оптимізації системи теплопостачання з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях. **Практична значимість.** Для проектування трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях необхідно знайти оптимальні параметри проектування, наприклад, капітальні та експлуатаційні витрати, коефіцієнт корисної дії та інші. Результати рішення задачі синтезу трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях забезпечать позитивний ефект для оптимального проектування даних систем. При пошуку оптимальних рішень даної системи запропоновано використовувати еволюційний алгоритм для пошуку рішень. Результати рішення даної задачі забезпечать позитивний ефект для проектування цих нагрівачів.

Ключові слова: трубчасті газові нагрівачі; будівельні конструкції; бінарне відношення вибору; алгоритм еволюційного пошуку

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ТРУБЧАТЫМИ ГАЗОВЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

ЧЕРНОМОРЕЦ Г. Я. ^{1*}, ассистент,
ПРОДОВ В. Ф. ², д.т.н, проф.

^{1*} Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжение, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: ChHYa@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

² Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжение, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

Аннотация. Цель. Для выбора оптимальных параметров проектирования системы автономного теплоснабжения с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях необходимо решить задачу синтеза. Для этого необходимо разработать математическую модель всей системы теплоснабжения с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях, как модель гидравлической цепи с неізотермічним течением и теплообменом и методы решения задач анализа и синтеза этих систем для воздушного отопления, что повышает эффективность капиталовложений в строительстве. **Методика.** При проектировании и конструировании трубчатого газового нагревателя в строительной конструкции возникает

необходимость выбора целого ряда параметров, определяющих оптимальные показатели его работы. Для поиска решений задачи синтеза (оптимизации) предложено использовать алгоритм эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений. **Результаты.** Сформулировано задачу оптимизации системы автономного теплоснабжения с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях. Для решения данной задачи разработан алгоритм используя выбор с привлечением алгоритма эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений. **Научная новизна.** Разработан метод решения задачи синтеза системы автономного теплоснабжения с трубчатыми газовыми нагревателями, расположенными в строительных конструкциях, используя алгоритм эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений. Результаты данного решения позволят улучшить качество проектных работ и работу самих нагревателей. Приведена сходимость решений задачи оптимизации системы теплоснабжения с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях. **Практическая значимость.** Для проектирования трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях необходимо найти оптимальные параметры проектирования, например, капитальные и эксплуатационные затраты, коэффициент полезного действия и другие. Результаты решения задачи синтеза трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях обеспечат положительный эффект для оптимального проектирования данных систем. При поиске оптимальных решений для данной системы предложено использовать эволюционный алгоритм для поиска решений. Результаты решения данной задачи обеспечат положительный эффект для проектирования этих нагревателей.

Ключевые слова: трубчатые газовые нагреватели; строительные конструкции; бинарное отношение выбора; алгоритм эволюционного поиска

SOLVING THE PROBLEM OF SYNTHESIS OF INDEPENDENT SYSTEM HEAT SUPPLY WITH TUBE GAS HEATERS IN STRUCTURES

CHORNOMORETS H. Y. ^{1*}, *assistant*,
IRODOV V. F. ², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

^{1*} Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Chernishevskogo str., 24-A, Dnipro 49600, Ukraine, phon. +38 (056) 756-33-49, e-mail: ChHYa@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

² Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, Chernishevskogo str., 24-A, Dnipro 49600, Ukraine, phon. +38 (056) 756-34-06, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

Abstract. Purpose. To select the optimal design parameters indirect heating with tube gas heaters in structures must solve the problem of synthesis. It is necessary to develop a mathematical model of the entire heating system with tube gas heaters in structures as the hydraulic circuit with non-isothermal flow and heat transfer and methods of solving problems of analysis and synthesis of systems for air heating, which increases the efficiency of investment in construction. **Methodology.** When designing and constructing tube gas heater in structures are needed choice of a number of parameters that determine the optimal performance of its work. To find solutions to the problem of synthesis (optimization) is proposed to use evolutionary search algorithm for the most preferred solutions. **Findings.** The problem is formulated optimization indirect heating with tube gas heaters in structures. To solve this problem using a selection algorithm involving an evolutionary algorithm to find the most preferred solution. **Originality.** The method of solving the problem of synthesis indirect heating with tube gas heater located in structures using evolutionary algorithm for finding the most preferred solution. The results of this decision will improve the quality of project work and work themselves heaters. The following convergence solutions of the optimization heating system with tube gas heaters in structures. **Practical value.** For the design of tube gas heaters in structures needed to find optimal design parameters, such as capital and operating costs, efficiency and the others. Results for solving the problem of synthesis gas tube heaters in structures provide a positive impact on the optimal design of these systems. When looking for optimal solutions of the system proposed to use an evolutionary algorithm to find solutions. Results of the solution of this problem will provide positive effects for the design of these heaters.

Keywords: tube gas heaters; building structures; binary choice relation; evolutionary search algorithm

Введення

Для трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях розроблена математична модель ділянки [5] на основі якої сформульована задача аналізу [6] – розрахунок параметрів теплового та гідравлічного режимів при відомих конструктивних параметрах і параметрах експлуатації нагрівача. Для визначення оптимальних параметрів проектування нагрівачів формулюється задача синтезу із залученням алгоритму еволюційного пошуку найбільш переважних рішень [2,3,9].

Мета

Мета даної статті - сформулювати задачу синтезу системи автономного тепlopостачання з трубчастими газовими нагрівачами як задачу узагальненого математичного програмування [1,4,7,8] для тепло-гідравлічного ланцюга з трубчастими газовими нагрівачами розташованими у будівельних конструкціях з одним бінарним відношенням вибору та розробити метод і алгоритм еволюційного пошуку її розв'язання.

Методика

Досліджуються теплові та гідравлічні процеси системи автономного тепlopостачання з трубчастими газовими нагрівачами, що розташовані у будівельних конструкціях як гідравлічний ланцюг з розподіленими параметрами.

Гідравлічний ланцюг представлений у вигляді графа $\Gamma(I, J)$ (рис. 1), що вміщує множину вершин J та

множину дуг (ділянок) I . Множина вершин складається із чотирьох підмножин: J_δ – множина вершин джерела, J_ϵ – множина вершин витоків (споживачів), J_ζ – множина вершин з'єднань, J_η – множина вершин умовної ділянки.

$$J = J_\delta \cup J_\epsilon \cup J_\zeta \cup J_\eta$$

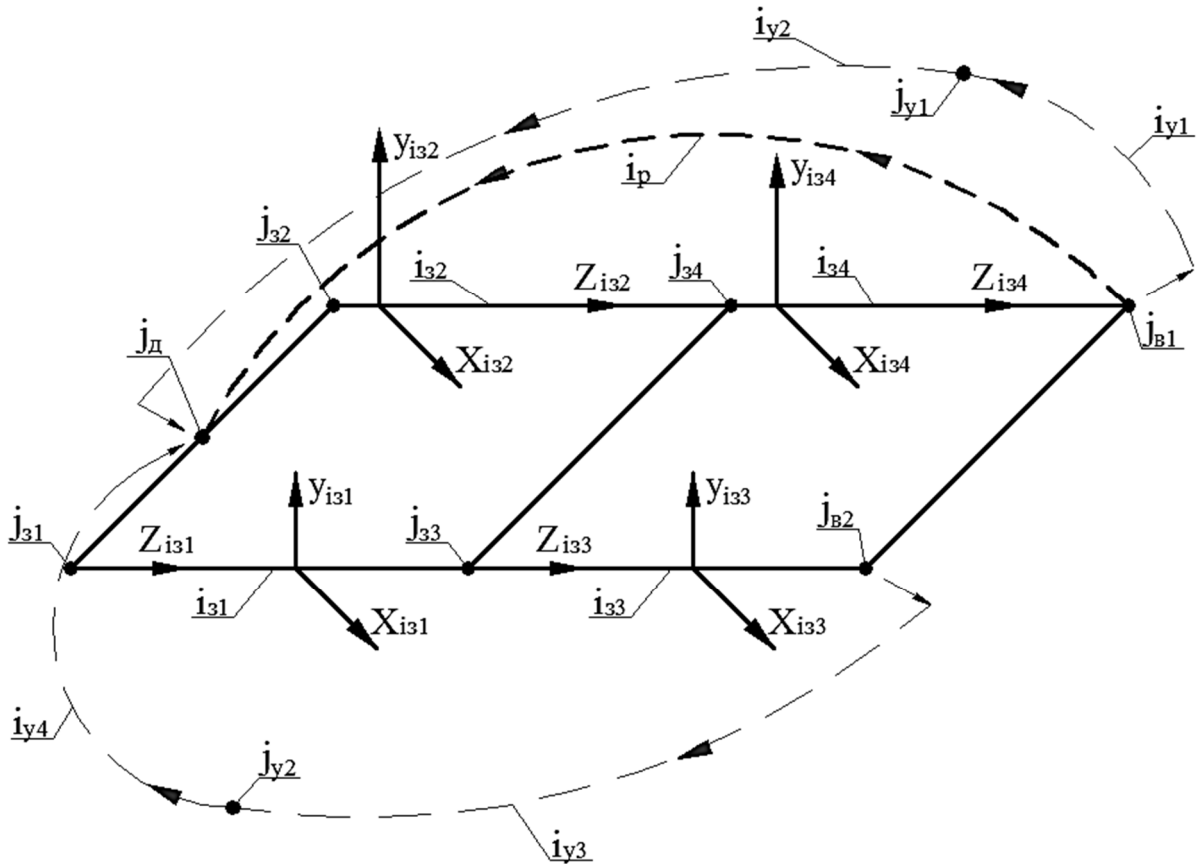


Рис. 1. Система повітряного (газоповітряного) тепlopостачання з трубчастими газовими нагрівачами розташованими у будівельних конструкціях: /

Air (gas) heating system with tube gas heaters located in structures:

x_i та y_i – координати у перетині будівельної конструкції; z_i – координата по довжині нагрівача;

j_δ – вузол джерела; j_ζ – вузол з'єднань; j_ϵ – вузол витоків; j_η – вузол умовної ділянки; i_ζ – ділянка з'єднань;

i_η – умовна ділянка; i_p – ділянка рециркуляції. /

x_i та y_i – coordinates of the intersection building structure; z_i – coordinate along the length of the heater; j_δ – node of the source; j_ζ – node of the connections; j_ϵ – node of the leakage; j_η – node of the conditional area; i_ζ – area of the connections;

i_η – conditional area; i_p – area of the recirculation.

Розглядаються наступні умови:

Перший та другий закони Кірхгофа у матричній формі:

$$\begin{cases} A \cdot V + Q = 0 \\ B \cdot H = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Рівняння втрат тиску по ділянкам:

$$H + \bar{A} \cdot \bar{P} = 0 \quad (2)$$

де: A, B – матриця з'єднаній та контурів ланцюга відповідно; $V = \{v_i\}$ – вектор масових витрат по

ділянкам, $i = \overline{1, n}$; $Q = \{q_j\}$ – вектор масових вузлових витрат, $j = \overline{1, m}$; $\bar{P} = \{P_j\}$ – вектор втрат тиску у вузлах, $j = \overline{1, m}$; $H = \{h_i\}$ – вектор втрат тиску по ділянкам, $i = \overline{1, n}$.

Втрати тиску на i -й ділянці:

$$h_i = \int_0^{l_i} dP_i \cdot dz_i \quad (3)$$

де: z_i – довжина i -ї ділянки.

Перепад тиску по ділянкам в залежності від витрати v_i , температури T_i , густини ρ_i та швидкості w_i :

$$dP_i(z_i) = \psi_i(v_i, T_i(z_i), \rho_i(z_i), w_i(z_i), dT_i, d\rho_i, dw_i) \quad (4)$$

де: v_i – витрата теплоносія в середині каналу на i -й ділянці; $w_i(z_i)$ – швидкість руху в середині каналу на i -й ділянці; $T_i(z_i)$ – температура в середині каналу на i -й ділянці; $\rho_i(z_i)$ – густина теплоносія в середині каналу на i -й ділянці.

Рівняння балансу енергії для вузлів ланцюга:

$$\sum_{i \in I_{\text{вхід}}} v_i(l_i) \cdot C_{P_i} T_i(l_i) = \sum_{i \in I_{\text{вихід}}} v_i(0) \cdot C_{P_i} T_i(0), j \in J \quad (5)$$

де: $I_{\text{вхід}}$ – множина ділянок, що входять до вузла j ; $I_{\text{вихід}}$ – множина ділянок, що виходять з вузла j ; C_{P_i} – теплоємність при постійному тиску газоповітряної суміші, Дж/кг °С.

Обмеження на допустимі значення швидкості та температури відповідно:

$$w_i(z_i) \leq w_i^{\text{дон}}(z_i) \quad (6)$$

$$T_i(z_i) \leq T_i^{\text{дон}}(z_i) \quad (7)$$

де: $w_i^{\text{дон}}(z_i)$ – допустима швидкість руху в середині каналу на i -й ділянці, м/с; $T_i^{\text{дон}}(z_i)$ – допустима температура в середині каналу на i -й ділянці, °С.

Для проектування системи повітряного (газоповітряного) тепlopостачання з трубчастими газовими нагрівачами розташованими у будівельних конструкціях необхідно визначити оптимальні показники її роботи. При допустимій зміні деяких параметрів роботи потрібно вибрати такі параметри які в тому чи іншому випадку будуть найбільш переважними. Це визначається за допомогою бінарного відношення вибору R_S .

На основі розробленої математичної моделі трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях формулюється задача синтезу (оптимізації) – визначення конструктивних параметрів нагрівача та параметрів його експлуатації, що може дати позитивний ефект.

Постановка задачі. Відома структура системи тепlopостачання – матриця з'єднань A та матриця контурів B , форма будівельних конструкцій і газоповітряних каналів на ділянках нагрівача, довжини ділянок, еквівалентні діаметри нагрівачів на ділянках, матеріал будівельної конструкції, теплофізичні та гідравлічні характеристики матеріалу нагрівачів та будівельної конструкції, витратно-напірні характеристики вентиляторів. Відоме розташування джерел та витоків системи опалення. Відомі граничні умови для витрат теплової енергії,

що передається по виділеним зонам системи опалення (8).

$$Q_{j_{\min}}^{\text{зон}} \leq Q_j^{\text{зон}} \leq Q_{j_{\max}}^{\text{зон}} \quad j=1, \overline{j_{\text{зон}}} \quad (8)$$

де: $Q_{j_{\min}}^{\text{зон}}$ – мінімальна витрата теплової енергії на j - й зоні, Вт; $Q_j^{\text{зон}}$ – дійсна витрата теплової енергії на j - й зоні, Вт; $Q_{j_{\max}}^{\text{зон}}$ – максимальна витрата теплової енергії на j - й зоні, Вт.

Необхідно забезпечити:

$$T_{wi}(z_i) \leq T_{wi}^{\text{дон}}(z_i) \quad (9)$$

$$w_i(z_i) \leq w_i^{\text{дон}}(z_i) \quad (10)$$

де: $w_i(z_i)$ – швидкість руху в середині каналу на i -й ділянці, м/с; $T_{wi}(z_i)$ – температура внутрішньої поверхні будівельної конструкції в середині каналу на i -й ділянці, °С; $w_i^{\text{дон}}(z_i)$ – допустима швидкість руху в середині каналу на i -й ділянці, м/с; $T_{wi}^{\text{дон}}(z_i)$ – допустима температура внутрішньої поверхні будівельної конструкції в середині каналу на i -й ділянці, °С.

Необхідно знайти: розподіл тепло-гідравлічних параметрів $T(z_i), P(z_i), w(z_i), \rho(z_i)$, характерний діаметр трубчастих нагрівачів D_i , характерну товщину матеріалу будівельної конструкції Δ_i .

Необхідно знайти параметри, що задовольняють математичну модель (1) - (7), математичну модель ділянки [5], а також умовам (8) - (10) та забезпечують вибір найбільш переважного рішення (11).

$$xR_S y \Leftrightarrow F_1(x) \leq F_1(y) \quad (11)$$

де: R_S – відношення нестроного порядку; $F(x)$ – відома цільова функція в задачі однокритеріального синтезу $F_1 \rightarrow \min$.

Для вирішення наведеної задачі важливим є розробити алгоритм рішення. Розроблено новий алгоритм та розв'язано задачу синтезу трубчастого газового нагрівача з декількома контурами канали якого розташовані у будівельній конструкції на основі алгоритму еволюційного пошуку найбільш переважних рішень [2,3,9].

Формулюється відношення вибору з урахуванням цільової функції F_1 та додаткової позитивної функції F_2 , яка характеризує ступінь виконання математичної моделі, а також умов (8) - (10) з бінарними відношеннями (12), які забезпечуються шляхом $F_2 \rightarrow \min$.

Критерії F_1, F_2 розглядаються як послідовні, спочатку $F_2 \rightarrow \min$ потім $F_1 \rightarrow \min$.

Відповідне лексикографічне відношення має вигляд:

$$xR_{SS} y \Leftrightarrow F_2(x) < F_2(y) + \delta \vee \\ \vee F_2(x) = F_2(y) \wedge F_1(x) \leq F_1(y) \quad (12)$$

де: δ – допустима похибка виконання необхідних умов.

За допомогою розробленого алгоритму розв'язання задачі синтезу з одним бінарним відношенням вибору проведено розрахунок трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції з декількома контурами. На рис. 2 представлено граф трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції з декількома контурами.

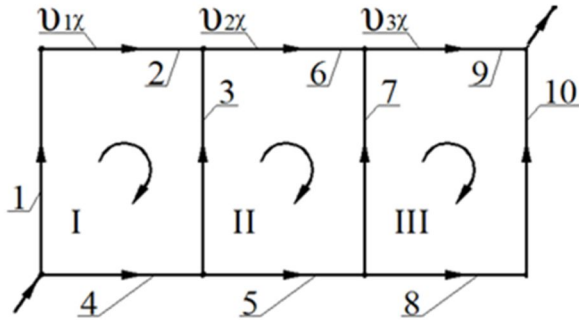


Рис.2. Граф трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції: /

Graph of tube gas heater located in structures:

I – III – контури графа; 1 – 10 – ділянки графа;

$v_{1x} - v_{3x}$ – хордові витрати. /

I – III – contours of the graph; 1 – 10 – area of the graph;

$v_{1x} - v_{3x}$ – chord rates.

В результаті розрахунку отримані значення шуканих цільової функції F_1 та функції F_2 .

Спочатку знаходиться додаткова позитивна функція F_2 , яка характеризує ступінь виконання математичної моделі, а також умов (8) - (10), які забезпечуються шляхом $F_2 \rightarrow \min$, потім було визначено капітальні витрати - $F_1 \rightarrow \min$.

Чисельні результати розв'язання задачі синтезу автономної системи тепlopостачання з трубчастими газовими нагрівачами розташованими у будівельних конструкціях з одним бінарним відношенням вибору, за допомогою розробленого алгоритму еволюційного пошуку найбільш переважних рішень, наведені на рисунку 3.

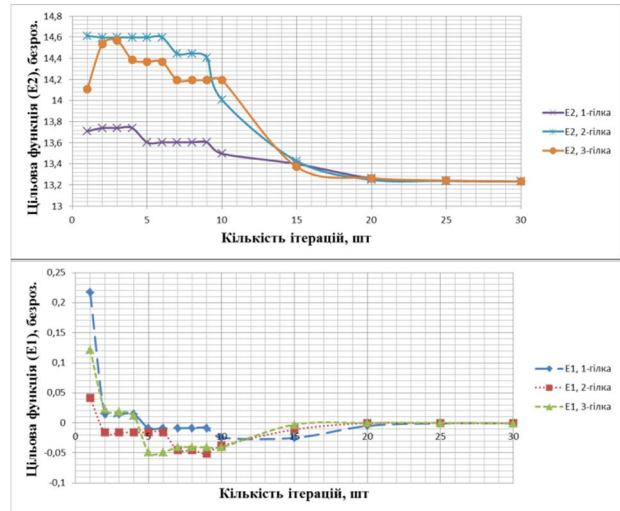


Рис.3. Результат розв'язання задачі синтезу / The result of solving the problem of synthesis

Результати

Наведено постановку, метод та результати чисельного рішення задачі оптимізації системи автономного тепlopостачання з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях. Для рішення даної задачі запропоновано використовувати відбір із залученням алгоритму еволюційного пошуку найбільш переважних рішень.

Наукова новизна і практична значимість

Розроблено метод розв'язання задачі синтезу системи автономного тепlopостачання з трубчастими газовими нагрівачами, що розташовані у будівельних конструкціях. Результати рішення даної задачі забезпечать позитивний ефект для оптимального проектування даних систем.

Висновки

Сформульована задача синтезу системи автономного тепlopостачання з трубчастими газовими нагрівачами, як задача узагальненого математичного програмування для гідравлічного ланцюга з трубчастими газовими нагрівачами розташованими у будівельних конструкціях з одним бінарним відношенням вибору. Розроблені метод і алгоритм еволюційного пошуку її розв'язання та наведені результати рішення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волошин О. Ф. Модели та методи прийняття рішень : навчальний посібник / О. Ф. Волошин, С. О. Машенко. – Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. – 336 с.
2. Иродов В. Ф. О построении и сходимости алгоритмов самоорганизации случайного поиска / В. Ф. Иродов // Автоматика. – 1987. – №4. – С. 34–43.
3. Стратан Ф. И. Эволюционные алгоритмы поиска оптимальных решений / Ф. И. Стратан, В. Ф. Иродов // Методы оптимизации при проектировании систем теплогоснабжения. – Кишинев, 1984. – С. 16–30.

4. Теория выбора и принятия решений : учебное пособие / И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов. – Москва : Наука, 1982. – 330 с.
5. Чорноморець Г. Я. Математичне моделювання трубчастих газових нагрівачів, розташованих у будівельних конструкціях / Г. Я. Чорноморець, В. Ф. Іродов // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2012. – Вип. 68. – С. 395-399.
6. Чорноморець Г. Я. Побудова чисельного методу Гальоркіна з використанням алгоритму еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень / Г. Я. Чорноморець, В. Ф. Іродов // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА, 2015. – №86. – С. 132–137. – (Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении).
7. Фогель Л. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование / Л. Фогель, А. Уолш. - М.: Мир, 1969.- 228 с.
8. Юдин Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений / Д. Б. Юдин.- М.: Наука, 1989.- 320 с.
9. Irodov V. Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations / V. Irodov // Journal Systems Analysis Modeling Simulation. - Newark, NJ, USA Inc: Gordon and Breach Science Publishers, 1995.- Vol. 18-19, 1995. – pp. 203 – 206.

REFERENCES

1. Voloshyn O.F. and Mashchenko S.O. *Modeli ta metody pryyniattia rishen* [Models and methods of decision-making]. Kyiv, Kyivskyy universytet Publ., 2010, 336 p. (in Ukrainian).
2. Irodov V.F. *O postroenii i skhodimosti algoritmov samoorganizatsii sluchaynogo poiska* [The construction and convergence of random search algorithms for self-organization]. *Avtomatika – Automation*, 1987, issue 4, pp. 34–43. (in Russian).
3. Stratan F.I. and Irodov V.F. *Evolutsionnye algoritmy poiska optimalnykh resheniy* [Evolutionary algorithms search for optimal solutions]. *Metody optimizatsii pri proektirovanii sistem teplogazosnabzheniya – Methods of optimizing for design of heating systems*, 1984, pp. 16–30. (in Russian).
4. Makarov I.M., Vinogradskaya T.M., Rubchinskiy A.A. and Sokolov V.B. *Teoriya vyibora i prinyatiya resheniy* [The theory of choice and decision-making]. Moskva, Nauka Publ., 1982. 330 p. (in Russian).
5. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Matematychnе modeliuвання trubchastykh hazovykh nahrivachiv, roztashovanykh u budivelnnykh konstruktiiakh* [Mathematical modeling tube gas heaters located in building structures]. *Naukovyj visnyk budivnytstva : Zb. nauk. prats* [Scientific Bulletin construction: Coll. Science works], 2012, issue 68, pp. 395–399. (in Ukrainian).
6. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Pobudova chysel'noho metodu Hal'orkina z vykorystannyam alhorytmu evolyutsijnoho poshuku naybil'sh pryvablyvykh rishen'* [Numerical galerkin method using algorithm of evolutionary search the preferred solution]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2015, issue 86, pp. 132–137. (in Russian).
7. Fogel L. and Uolsh A. *Iskusstvennyy intellekt i evolyutsionnoye modelirovaniye* [Artificial intelligence and evolutionary modeling]. Moskva, Mir Publ., 1969, 228 p. (in Russian).
8. Yudin D.B. *Vychislitelnyye metody teorii prinyatiya resheniy* [Computational methods of decision theory]. Moskva, Nauka Publ., 1989, 320 p. (in Russian).
9. Irodov V.F. *Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations. Soviet J. Journal Systems Analysis Modeling Simulation*. Newark, NJ, USA, 1995, issue 18-19, pp. 203–206. (in English).

Стаття рекомендована до публікації д-ром.техн.наук, проф. А. С. Беліковим (Україна); д-ром.техн.наук, проф. С. З. Поліщуком (Україна)

Стаття надійшла в редколегію 29.03.2017