

УДК 519.816

## СТОСОВНО ПИТАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВІДБОРУ У ЗАДАЧАХ СИНТЕЗУ З ТРУБЧАСТИМИ ГАЗОВИМИ НАГРІВАЧАМИ У БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

ЧОРНОМОРЕЦЬ Г. Я.<sup>1\*</sup>, асистент,  
ПРОДОВ В. Ф.<sup>2\*</sup>, д.т.н, проф.

<sup>1\*</sup> 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](mailto:ChHYa@i.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

<sup>2\*</sup> 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](mailto:vfirodov@i.ua), ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

**Анотація. Мета.** Для ефективної роботи трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях необхідно вирішити задачу синтезу (прийняття рішень вибору оптимальних параметрів проектування). При рішенні задачі синтезу необхідно застосовувати багатокритеріальний відбір. Метою даної роботи є розробка та рішення загального алгоритму пошуку оптимальних параметрів роботи трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях із застосуванням багатокритеріального відбору. **Методика.** При проектуванні та конструюванні трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції виникає потреба вибору цілого ряду параметрів, що визначають оптимальні показники його роботи. На підставі розроблених математичних моделей трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях формулюється задача синтезу (проектування та керування режимами) теплового й гідравлічного режиму роботи цих нагрівачів. Запропонований загальний алгоритм пошуку рішень задачі синтезу з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях, який застосовує багатокритеріальний відбір. Для пошуку рішень використовується алгоритм еволюційного пошуку найбільш переважних рішень. **Результати.** Розроблено та розв'язано чисельний алгоритм рішення задачі оптимізації роботи трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції. Для рішення даної задачі застосовано багатокритеріальний відбір, використовуючи еволюційний алгоритм випадкового пошуку найбільш переважних рішень. **Наукова новизна.** Використовуючи багатокритеріальний відбір Парето – оптимальних рішень вирішена задача оптимізації роботи трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції. Для рішення задачі оптимізації трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях, запропоновано застосовувати багатокритеріальний відбір у алгоритмі еволюційного пошуку. **Практична значимість.** Трубчасті газові нагрівачі розташовані у будівельних конструкціях сприяють розширенню сфери застосування трубчастих нагрівачів та з невеликими капітальними витратами здатні забезпечити опалення приміщень. Для якісного проектування таких систем необхідно оптимізувати параметри їх роботи. При рішенні задачі синтезу даної системи опалення використовується багатокритеріальний відбір з еволюційним алгоритмом для пошуку рішень.

**Ключові слова:** трубчасті газові нагрівачі; будівельні конструкції; багатокритеріальний відбір; алгоритм еволюційного пошуку

## К ВОПРОСУ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОТБОРА В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА С ТРУБЧАТЫМИ ГАЗОВЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

ЧЕРНОМОРЕЦ Г. Я.<sup>1\*</sup>, ассистент,  
ПРОДОВ В. Ф.<sup>2\*</sup>, д.т.н, проф.

<sup>1\*</sup> 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](mailto:ChHYa@i.ua), ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

<sup>2\*</sup> 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](mailto:vfirodov@i.ua), ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

**Аннотация. Цель.** Для эффективной работы трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях необходимо решить задачу синтеза (принятие решений выбора оптимальных параметров проектирования). При решении задачи синтеза необходимо применять многокритериальный отбор. Целью данной работы является разработка и решение общего алгоритма поиска оптимальных параметров работы трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях с применением многокритериального отбора. **Методика.** При проектировании и конструировании трубчатого газового нагревателя в строительной конструкции возникает необходимость выбора целого ряда параметров, определяющих оптимальные показатели

его работы. На основании разработанных математических моделей трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях формулируется задача синтеза (проектирование и управление режимами) теплового и гидравлического режима работы этих нагревателей. Предложенный общий алгоритм поиска решений задачи синтеза с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях, который использует многокритериальный отбор. Для поиска решений используется алгоритм эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений. **Результаты.** Разработан и решён численный алгоритм решения задачи оптимизации работы трубчатого газового нагревателя в строительной конструкции. Для решения данной задачи применен многокритериальный отбор, используя эволюционный алгоритм случайного поиска наиболее предпочтительных решений. **Научная новизна.** Используя многокритериальный отбор Парето - оптимальных решений решена задача оптимизации работы трубчатого газового нагревателя в строительной конструкции. Для решения задачи оптимизации трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях, предложено применять многокритериальный отбор в алгоритме эволюционного поиска. **Практическая значимость.** Трубчатые нагреватели в строительных конструкциях способствуют расширению сферы применения трубчатых нагревателей и с небольшими капитальными затратами способны обеспечить отопление помещений. Для качественного проектирования таких систем необходимо оптимизировать параметры их работы. При решении задачи синтеза данной системы отопления используется многокритериальный отбор с эволюционным алгоритмом для поиска решений.

**Ключевые слова:** трубчатые газовые нагреватели; строительные конструкции; многокритериальный отбор; алгоритм эволюционного поиска

## ON APPLICATION MULTICRITERIAL SELECTION IN TASK OF SYNTHESIS WITH TUBE GAS HEATERS IN BUILDING STRUCTURES

CHORNOMORETS H. Ya. <sup>1\*</sup>, *assistant*,  
IRODOV V. F. <sup>2\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

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

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

**Abstract. Purpose.** We have to solve the problem of synthesis for efficient operation of the tuber gas heaters in structures. The problem of synthesis is choice of the optimal design parameters. The mathematical model of this system is consists of: mathematical model of the tube gas heater, mathematical model of heat distribution in the building structure and corresponding boundary conditions. To solve the tasks of analysis and synthesis must be appropriate mathematical and information support. It was applied multi-criteria selection for solving the problem of synthesis. The aim of this work is to develop and resolution of the general search algorithm optimal parameters of tube gas heaters in building structures with the use multi-criteria selection. **Methodology.** It was proposed general algorithm for finding solutions of the problem synthesis gas tube heaters in building structures. Was used multi-objective selection by this algorithm. Was applied evolutionary algorithm for finding the most attractive solutions. **Findings.** Was constructed numerical algorithm for solving the problem of optimizing the work of the tuber gas heater in the building structure. To solve this problem was applied multi-criteria selection with the help evolutionary algorithm random search of the most preferred solutions. **Originality.** Was proposed to use multi-criteria selection of Pareto - optimal solutions in evolutionary algorithm random search for solve the problems of synthesis gas tube heaters in building structures like complex challenges. **Practical value.** Was developed mathematical and software support, which allows to solve the problems of analysis and synthesis heating systems with gas tube heaters, located in building structures. This results and computation will provide full information support for solving problems of analysis and synthesis of the heating system. It was suggested to use multi-criteria selection of the evolutionary algorithm to find solutions for high-quality design of tuber gas heater in the building structure. We have to optimize their performance parameters. It is necessary to solve the problem synthesis (design and management modes) for quality design of such systems. Was invented the approach to solving problems of synthesis will improve the quality of project work.

**Keywords:** tube gas heaters; building structures; multi-objective selection; evolutionary search algorithm

### Введення

На основі відомих трубчастих газових нагрівачів [2, 3, 5] розроблено нове технічне рішення, коли канали трубчастого нагрівача розташовані у будівельній конструкції. Це технічне рішення є новим, тому необхідно виконати чисельні розрахунки трубчастих нагрівачів у будівельній конструкції для подальшого аналізу та оптимізації їх роботи.

### Мета

Метою даної статті є на основі існуючих досліджень та розроблених математичних моделях забезпечити рішення задачі синтезу трубчастих нагрівачів у будівельних конструкціях із використанням багатокритеріального відбору.

**Методика**

Трубчасті газові нагрівачі застосовуються для повітряно-променевого опалення, нагрівання повітря, а також для нагріву води [2, 3, 5, 7-9]. Нове технічне рішення (рис.1) трубчастого нагрівача з розміщенням каналів у будівельній конструкції [8] дозволяє розширити сферу їх застосування. Для ефективної роботи даних нагрівачів необхідно вирішити задачу синтезу (прийняття рішень вибору оптимальних параметрів проектування).

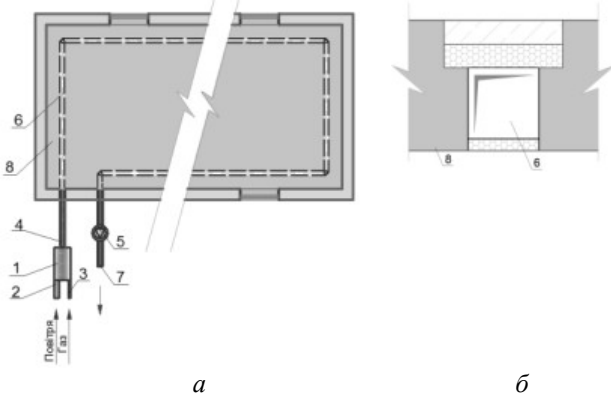


Рис.1. Трубчастий газовий нагрівач, розміщений у підлозі: / Tube gas heater located in the floor: а – план; б – розріз;

- 1 - газовий пальник; 2 - патрубок подачі повітря;
- 3 - патрубок подачі газу; 4 - початкова ділянка лінійного нагрівача в теплоізоляції; 5 - витяжний вентилятор; 6 - канали газоповітряної суміші;
- 7 - патрубок відводу газоповітряної суміші;
- 8 - бетон. / а - plan; б - section;
- 1 - gas burner; 2 - pipe of air supply;
- 3 - pipe of gas supply; 4 - the initial plot line heater in insulation; 5 - exhaust fan; 6 - channels of gas mixture;
- 7 - drain pipe of gas mixture; 8 - concrete.

Трубчастий газовий нагрівач містить: газовий пальник, початкову ділянку трубчастого нагрівача, де відбувається сумішоутворення між паливом та повітрям і спалювання газу, основну ділянку трубчастого нагрівача, на якій відбувається передача тепла від газоповітряної суміші у будівельну конструкцію, а звідти в опалюване середовище, витяжний вентилятор, патрубок видалення димових газів на зовні.

Для розрахунку гідравлічних і теплових режимів представленого технічного рішення розроблено математичну модель [8], яку розроблено спираючись на математичні моделі трубчастого нагрівача вільно розташованого в опалювальному просторі [2, 3, 7].

Математична модель даної системи опалення складається з: математичної моделі самого трубчастого газового нагрівача, як гідравлічного ланцюга, математичної моделі розподілу тепла у будівельній конструкції та відповідних граничних умов, які їх пов'язують.

При побудові математичної моделі прийняті наступні допущення [9]:

– область дослідження є: по довжині нагрівача – область від зрізу газового сопла до виходу з витяжного вентилятора; у поперечному напрямку – область газоповітряної суміші усередині каналу будівельної конструкції.

– плин газоповітряної суміші і температурний режим: по довжині нагрівача розглядаються як стаціонарні й одномірні; через будівельну конструкцію – двомірні.

**Рівняння збереження маси:**

$$M = \rho w F = const \quad (1)$$

де:  $\rho$  – щільність газоповітряної суміші, кг/м<sup>3</sup>;  $w$  – середня лінійна швидкість руху газоповітряної суміші всередині каналу, м/с;  $F$  – площа поперечного перерізу каналу, м<sup>2</sup>.

**Рівняння стану** газоповітряної суміші у вигляді рівняння стану ідеального газу:

$$p = \rho R T \quad (2)$$

де:  $p$  – абсолютний тиск газоповітряної суміші в даному перетині каналу, Па;  $T$  – абсолютна температура газоповітряної суміші в даному перетині каналу, °С;  $R$  – газова постійна, залежна від складу газоповітряної суміші після повного згоряння горючого газу, Дж/кг °С.

**Рівняння руху** газоповітряної суміші всередині каналу:

$$dp = -\frac{A}{D} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot dz + (\rho_a - \rho) \cdot g \cdot dh \quad (3)$$

де:  $dp$  – перепад тиску газоповітряної суміші у каналі на ділянці довжиною  $dz$ ;  $A$  – коефіцієнт тертя;  $D$  – внутрішній еквівалентний діаметр каналу, м;  $(\rho_a - \rho) \cdot g \cdot dh$  – втрати тиску на самотягу;  $\rho_a$  – щільність зовнішнього повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $dh$  – довжина ділянки димаря, м.

**Рівняння теплового балансу** для елементарної ділянки каналу трубчастого нагрівача довжиною  $dz$  у даному перетині.

$dQ_1$  – тепловий потік від газоповітряної суміші до стінки каналу, переданий конвекцією та випромінюванням, Вт:

$$dQ_1 = \Pi_i dz \alpha_{\Sigma i} (T - T_{wi}) \quad (4)$$

де:  $\Pi_i$  – внутрішній периметр каналу, м;  $\alpha_{\Sigma i}$  – ефективний коефіцієнт тепловіддачі (конвективний та променистий) від потоку газоповітряної суміші до стінки каналу, Вт/м<sup>2</sup> °С;  $T_{wi}$  – температура внутрішньої поверхні стінки каналу в даному перетині, °С.

**Зміна теплової енергії** потоку газоповітряної суміші, що рухається:

$$d(\rho \cdot w F c_p T) = -dQ_1 \quad (5)$$

де:  $c_p$  – теплоємність при постійному тиску газоповітряної суміші, Дж/кг °С.

**Розподіл тепла у будівельній конструкції** представлено рівнянням теплопровідності з відповідними граничними умовами у вигляді:

$$\frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_w}{\partial y^2} = 0 \quad (6)$$

де:  $T_w$  – температура всередині будівельної конструкції, °С;  $x$  та  $y$  – лінійні координати у перетині.

Граничні умови для (6) мають вигляд:

$$\alpha_{\Sigma i}(T - T_{wi}) = -\lambda \left(\frac{\partial T_w}{\partial n}\right)_{wi} \text{ при } (x, y) \in wi \quad (7)$$

$$-\lambda \left(\frac{\partial T_w}{\partial n}\right)_{we} = \alpha_{\Sigma e}(T_{we} - T_o) \text{ при } (x, y) \in we \quad (8)$$

де:  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/м °С;  $T_{we}$  – температура зовнішньої поверхні стінки випромінюючого каналу, °С;  $T_o$  – абсолютна температура навколишнього середовища в опалювальному приміщенні, °С;  $\alpha_{\Sigma e}$  – ефективний коефіцієнт тепловіддачі (конвективний та променистий) від зовнішньої поверхні будівельної конструкції в опалювальний простір, Вт/м<sup>2</sup> °С;  $\left(\frac{\partial T_w}{\partial n}\right)_{wi}$  – проекція градієнта температури за напрямком нормалі від потоку газоповітряної суміші до стінки каналу;  $\left(\frac{\partial T_w}{\partial n}\right)_{we}$  – проекція градієнта температури за напрямком нормалі від зовнішньої поверхні будівельної конструкції в опалювальний простір.

$dQ_2$  – тепловий потік від поверхні будівельної конструкції в навколишнє середовище опалювального приміщення, переданий конвекцією та випромінюванням, Вт:

$$dQ_2 = P_e dz \alpha_{\Sigma e}(T_{we} - T_o) \quad (9)$$

де:  $P_e$  – зовнішній периметр каналу, м.  
**Для стаціонарного теплового режиму:**

$$dQ_1 = dQ_2 \quad (10)$$

**Рівняння роботи витяжного вентилятора:**

$$\Delta P_a = \Phi(M) \quad (11)$$

де:  $\Delta P_a$  – активний напір вентилятора, Па;  
 $M$  – витрата газоповітряної суміші через вентилятор;

$\Phi$  – відома функція для обраної пари «вентилятор-електродвигун».

**Рівнянням другого закону Кірхгофа** для трубчастого газового нагрівача розташованого у будівельній конструкції з витяжним вентилятором як гідравлічного ланцюга. За другим законом Кірхгофа алгебраїчна сума втрат тиску у замкненому контурі дорівнює нулю:

$$\int dp(z) \cdot dz + \sum \Delta P_j(M) - \Delta P_d(M) = 0 \quad (12)$$

де:  $dp(z)$  – розподіл тиску ділянці трубчастого нагрівача;  $\sum \Delta P_j(M)$  – сума втрат тиску в місцевих опорах по шляху руху газоповітряної суміші.

На підставі розроблених математичних моделей трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях формулюється задача синтезу (проектування та керування режимами) теплового й гідравлічного режиму роботи цих нагрівачів.

При проектуванні та конструюванні трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції виникає потреба вибору цілого ряду параметрів, що визначають оптимальні показники його роботи.

При допустимій зміні деяких параметрів роботи трубчастого нагрівача потрібно вибрати такі параметри які в тому чи іншому випадку будуть найбільш переважними. Це визначається за допомогою бінарного відношення вибору  $R_S$ .

Тому необхідно визначити оптимальні витрату повітря та довжину трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції у якому рух теплоносія здійснюється за допомогою витяжного вентилятора.

На безлічі припустимих рішень  $\Omega$  потрібно знайти таке рішення  $x \in \Omega$ , що для всіх  $y \in \Omega$ , виконується  $xR_S y$ .

де:  $R_S$  – задане бінарне відношення вибору.

При рішенні даної задачі синтезу можуть бути визначені наступні критерії оптимізації:

- критерій максимуму коефіцієнта корисної дії трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції:

$$\eta_{заг} = Q_{новн}/Q_{вход} \rightarrow \max \quad (13)$$

де:  $Q_{новн}$  – загальний тепловий потік, що надходить в опалювальне приміщення від трубчастого газового нагрівача.

Тоді бінарне відношення вибору  $R_S$  має вигляд:

$$xR_S y = \eta_{заг}(x) \geq \eta_{заг}(y) \quad (14)$$

- критерій мінімуму нерівномірності нагріву по довжині нагрівача:

$$\varphi \rightarrow \min \quad (15)$$

Тоді бінарне відношення вибору  $R_S$  має вигляд:

$$xR_S y = \varphi(x) \leq \varphi(y) \quad (16)$$

Таким чином, задача визначення оптимальної довжини трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції та витрати повітря зводиться до пошуку такого рішення, що задовольняє системі

диференціальних рівнянь (1) – (12), а також є найбільш переважним по відношенню вибору  $R_S$ .

Для вирішення наведеної задачі важливим є розробити алгоритм рішення. Тому для чисельного рішення розроблений алгоритм на основі алгоритму еволюційного пошуку найбільш переважних рішень [4, 6].

Алгоритм еволюційного пошуку  $R_S$  – оптимального рішення має вигляд:

$$X_k = S(G(X_{k-1})), k=1, 2, \dots, n \quad (17)$$

де:  $X_k$  – безліч найбільш бажаних рішень по відношенню вибору  $R_S$  для кроку  $k$ ;  $X_{k-1}$  – те ж для  $(k-1)$  – го кроку ітерації;  $G(X)$  – функція генерації, породжена відношенням генерації  $R_G$ :

$$G(X) = X \cup G_H(X), \quad (18)$$

де:  $G_H(X)$  – множина нових рішень:

$$G_H(X) = \{y \in \Omega \mid \exists x \in X, y R_G x, \mu_{R_G}(x, y) > 0\} \quad (19)$$

де:  $R_G$  – нечітке відношення генерації з функцією приналежності  $\mu(y, x) : \Omega \times \Omega \rightarrow [0, 1]$ ;  $S(X)$  – функція вибору, породжена відношенням вибору. В даному алгоритмі пошук рішень здійснюється за допомогою функції блокування, через неможливість використання функції переваги для пошуку двох суперечливих критеріїв ( $\eta, \varphi$ ).

Функція блокування має вигляд [1]:

$$S(X) = \{x \in X \mid \forall y \in X \bar{R}_S x\} \quad (20)$$

Відомо, що функція генерації містить кількість рішень –  $N_g$ , а функція вибору –  $N_l$  рішень.

Для генерації рішень визначаються параметри пошуку для наступного кроку ітераційного процесу. Спочатку визначаються оцінки математичного очікування:

$$x_0^i = \frac{1}{N_g \cdot N_l} \sum_{j=1}^{N_g} \sum_{l=1}^{N_l} x_{lj}^i, i = \overline{1, n} \\ l = 1, 2, \dots, N_l, \quad j = 1, 2, \dots, N_g, \quad (21)$$

де:  $i$  – порядковий номер змінної;  $l$  – номер відібраного рішення;  $j$  – номер гілки еволюційного процесу;  $N_l$  – кількість кращих рішень, що відбираються на кожному кроці еволюційного пошуку в одній гілці;  $N_g$  – кількість гілок розрахунку еволюційного алгоритму.

Потім визначаються емпіричні дисперсії:

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{N_g \cdot N_l - 1} \sum_{j=1}^{N_g} \sum_{l=1}^{N_l} (x_{lj}^i - x_0^i)^2, i = \overline{1, n} \quad (22)$$

Визначені параметри використовуються при випадковому пошуку на наступному кроці еволюційного процесу [10].

На основі викладеного алгоритму виконано багатокритеріальну оптимізацію роботи трубчастих газових нагрівачів у будівельній конструкції. Деякі результати цього дослідження ( $V_n$  – витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $L$  – довжина трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції, м;  $\eta$  – коефіцієнт корисної

дії;  $\varphi$  – коефіцієнт нерівномірності нагріву по довжині нагрівача) представлені нижче (табл.1).

Таблиця 1

**Результати дослідження / Results of the research**

Витрата повітря, $V_n, \text{м}^3/\text{м}^3$	Довжина, $L, \text{м}$	ККД, $\eta$	Коефіцієнт нерівномірності нагріву, $\varphi$
294,73	78,6	0,574	2,199
217,71	87,12	0,727	3,285
200,85	53,69	0,575	2,176
159,99	72,2	0,77	3,676
137,96	37,4	0,577	2,17
125,667	40,66	0,644	2,58
100,87	27,78	0,579	2,163

**Результати**

Розроблено та розв'язано чисельний алгоритм рішення задачі оптимізації роботи трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції. Для рішення даної задачі застосовано багатокритеріальний відбір, використовуючи еволюційний алгоритм випадкового пошуку найбільш переважних рішень. В результаті рішення отримано оптимальне співвідношення коефіцієнта корисної дії та параметра нерівномірного прогріву по довжині нагрівача, зважаючи на те, що ці параметри є протилежними.

**Наукова новизна і практична значимість**

Використовуючи багатокритеріальний відбір Парето – оптимальних рішень вирішена задача синтезу трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції, що забезпечує прийняття рішень вибору оптимальних параметрів проектування.

**Висновки**

Для проектування трубчастих нагрівачів у будівельних конструкціях необхідно вирішити задачу синтезу (проектування та керування режимами). При рішенні задачі синтезу даної системи опалення використовується багатокритеріальний відбір з використанням еволюційного алгоритму для пошуку оптимальних рішень. Результати вирішення цієї задачі дозволять якісно проектувати та керувати режимами даних нагрівачів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Волошин О. Ф. Моделі та методи прийняття рішень : навчальний посібник / О. Ф. Волошин, С. О. Машченко. – Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. – 336 с.
2. Дудкин К. В. Математическое моделирование трубчатых газовых нагревателей для безопасного нагрева воды в объеме со свободной поверхностью / К. В. Дудкин, В. В. Ткачева, Ю. В. Бобырь // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 62. – С. 166–170. – (Безопасность жизнедеятельности).
3. Иродов В. Ф. Математическое моделирование и расчет инфракрасного трубчатого газового обогревателя / В. Ф. Иродов, Л. В. Солод // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепров. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 52, ч. 1. – С. 130–132. – (Безопасность жизнедеятельности).
4. Иродов В. Ф. О построении и сходимости алгоритмов самоорганизации случайного поиска / В. Ф. Иродов // Автоматика. – 1987. – №4. – С. 34–43.
5. Многоконтурные трубчатые газовые нагреватели как средства повышения безопасности воздушно-лучистого отопления / К. В. Дудкин, Ю. В. Хацкевич, Л. В. Солод, Г. Я. Черноморец // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепров. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 62. – С. 161–165. – (Безопасность жизнедеятельности).
6. 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.
7. Ткачова В. В. Індуктивне моделювання трубчастого газового нагрівача та пальника на пелетах / В. В. Ткачова, Р. В. Барсук // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры ; под общ. ред. В. И. Большакова. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 78. – С. 275–281. – (Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении).
8. Черноморець Г. Я. Математичне моделювання трубчастих газових нагрівачів, розташованих у будівельних конструкціях / Г. Я. Черноморець, В. Ф. Иродов // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2012. – Вып. 68. – С. 395–399.
9. Taler D. Mathematical modeling of tube heat exchangers with complex flow arrangement / D. Taler, M. Trojan, J. Taler // Chemical and process engineering. – Cracow, 2011. – Vol. 32, issue 1. – pp. 7–19.
10. Zitzler E. An evolutionary algorithm for multiobjective optimization the strength Pareto approach / E. Zitzler, L. Thiele. – Zurich : TIK - Report, 1998. – 43 p.

## 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. Dudkin K.V., Tkacheva V.V. and Bobyryu V.V. *Matematicheskoe modelirovanie trubchatykh gazovykh nagrevatelej dlya bezopasnogo nagreva vody v obeme so svobodnoy poverkhnostyu* [Mathematical modeling of tube gas heaters for safe water heating in the free-surface volume]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2011, issue 62, pp. 166–170. (in Russian).
3. Irodov V.F. and Solod L.V. *Matematicheskoe modelirovanie i raschet infrakrasnogo trubchatogo gazovogo obogrevatelya* [Mathematical modeling and calculation of tube infrared gas heater]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2010, issue 52, pp. 130–132. (in Russian).
4. 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).
5. Dudkin K.V., Hatskevich Ju.V., Solod L.V. and Chernomorets G.Ja. *Mnogokonturnye trubchatye gazovye nagrevateli kak sredstva povysheniya bezopasnosti vozdušno-luchistogo otopeniya* [Multiloop tube gas heaters as a means of improving the safety radiant heating]. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2011, issue 62, pp. 161–165. (in Russian).
6. 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).
7. Tkachova V.V. and Barsuk R.V. *Induktyvne modeliuвання trubchastoho hazovoho nahrivacha ta palnyka na peletakh* [Inductive modeling of tubular gas heater and burner on pellets] *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie : Sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Coll. scientific. works], 2014, issue 78, pp. 275–281. (in Ukrainian).
8. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Matematychnе modeliuвання trubchastykh hazovykh nahrivachiv, roztaшовanykh u budivelnnykh konstruktssiiakh* [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).
9. Taler D., Trojan M. and Taler J. *Mathematical modelling of tube heat exchangers with complex flow arrangement*. *Chemical and Process Engineering*. Cracow, Poland, 2011, pp. 7–19. (in English).
10. Zitzler E. and Thiele L. *An evolutionary algorithm for multiobjective optimization the strength Pareto approach*. Zurich, TIK - Report, 1998, 43 p. (in English).