

УДК 519.6

## ЗБІЖНІСТЬ РІШЕНЬ ПАРЕТО ОПТИМІЗАЦІЇ ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ БУДІВНИЦТВА З ТРУБЧАСТИМИ ГАЗОВИМИ НАГРІВАЧАМИ У БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

ЧОРНОМОРЕЦЬ Г. Я. <sup>1\*</sup>, асис.,  
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, 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, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

**Анотація. Мета.** Для розробки інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях необхідно вирішити задачу синтезу. При рішенні задач синтезу трубчастих газових нагрівачів виникають такі вимоги, що суперечать одна одній. Нерідко необхідно одночасно розглядати задачу оптимізації при наявності двох критеріїв. Для трубчастих газових нагрівачів, що розташовані у будівельних конструкціях будемо розглядати задачу синтезу з наступними критеріями: коефіцієнт корисної дії і довжина нагрівача, від якої залежать капітальні витрати. Стаття присвячена визначенню конструктивних параметрів нагрівача та параметрів його експлуатації для оптимізації роботи. **Методика.** Для пошуку рішень задачі Парето оптимізації інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях запропоновано використовувати багатокритеріальний відбір із залученням алгоритму еволюційного пошуку найбільш переважних рішень. **Результати.** Сформульовані умови рішення задачі Парето оптимізації інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях. Розроблений алгоритм пошуку рішень оптимізації роботи трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях. **Наукова новизна.** У статті наведений алгоритм рішення оптимальних параметрів роботи трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях, який здійснюється за двома критеріями, що одночасно суперечать один одному. Результати даного рішення дозволять поліпшити якість проектних робіт та роботу самих нагрівачів. Доведена збіжність рішень Парето оптимізації інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях. **Практична значимість.** Для проектування трубчастих газових нагрівачів у будівельних конструкціях необхідно знайти оптимальне співвідношення між капітальними та експлуатаційними витратами. При пошуку оптимальних рішень даної системи опалення необхідно знайти не один критерій, тому запропоновано використовувати багатокритеріальний відбір, що дає змогу використовувати еволюційний алгоритм для пошуку рішень. Результати рішення даної задачі забезпечать позитивний ефект для всього проекту будівництва.

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

## СХОДИМОСТЬ РЕШЕНИЙ ПАРЕТО ОПТИМИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА С ТРУБЧАТЫМИ ГАЗОВЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

ЧЕРНОМОРЕЦЬ Г. Я. <sup>1\*</sup>, асс.,  
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, 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, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

**Аннотация. Цель.** Для разработки инновационного проекта строительства с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях необходимо решить задачу синтеза. При решении задач синтеза трубчатых газовых нагревателей возникают противоречащие друг другу требования. Нередко необходимо одновременно рассматривать задачу оптимизации

при наличии двух критериев. Для трубчатых газовых нагревателей, расположенных в строительных конструкциях будем рассматривать задачу синтеза с следующими критериями: коэффициент полезного действия и длина нагревателя, от которой зависят капитальные затраты. Статья посвящена определению конструктивных параметров нагревателя и параметров его эксплуатации для оптимизации работы. **Методика.** Для поиска решений задачи Парето оптимизации инновационного проекта строительства с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях предложено использовать многокритериальный отбор с привлечением алгоритма эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений. **Результаты.** Сформулированные условия решения задачи Парето оптимизации инновационного проекта строительства с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях. Разработанный алгоритм поиска решений задачи оптимизации работы трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях. **Научная новизна.** В статье приведен алгоритм решения оптимальных параметров работы трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях, который осуществляется по двум критериям, одновременно противоречат друг другу. Результаты данного решения позволят улучшить качество проектных работ и работу самих нагревателей. Доказана сходимость решений Парето оптимизации инновационного проекта строительства с трубчатыми газовыми нагревателями в строительных конструкциях. **Практическая значимость.** Для проектирования трубчатых газовых нагревателей в строительных конструкциях необходимо найти оптимальное соотношение между капитальными и эксплуатационными затратами. При поиске оптимальных решений данной системы отопления необходимо найти не один критерий, поэтому предложено использовать многокритериальный отбор, что позволяет использовать эволюционный алгоритм для поиска решений. Результаты решения данной задачи обеспечат положительный эффект для всего проекта строительства.

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

## CONVERGENCE SOLUTIONS OF PARETO OPTIMIZATION INNOVATIVE PROJECT WITH TUBE GAS HEATERS IN BUILDING STRUCTURES

CHORNOMORETS H. Y. <sup>1\*</sup>, *ass.*,  
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, 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, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

**Abstract. Purpose.** We have to solve the synthesis problem for development of an innovative project to build a gas tube heaters in structures. At the decision of the tube gas heaters synthesis problems arise conflicting requirements. Often, we should simultaneously consider the problem of optimization in the presence of two criteria, however in this work were used the Pareto evolutionary algorithm. The Pareto Evolutionary Algorithm is a relatively recent technique for finding or approximating the Pareto-optimal set for multiobjective optimization problems. The approximation of the Pareto-optimal set involves itself two (possibly conflicting) objectives: the distance to the optimal front is to be minimized and the diversity of the generated solutions is to be maximized (in terms of objective or parameter values). For tube gas heaters located in the building structures it is following criteria: efficiency and length of the heater, from which capital costs are dependent. The article is devoted to the definition of design parameters of the heater and its operating parameters to optimize performance. The purpose of this paper is to describe multi-criteria selection for solving the problem of synthesis. **Methodology.** Was proposed to use multi-criteria selection involving an evolutionary search algorithm the most preferred solutions. It was applied to solve the problem of Pareto optimization of the innovation project construction with tube gas heaters in building structures. **Findings.** It was formulated conditions for solving the problem of Pareto optimization of the innovation project construction with tube gas heaters in building constructions. It was developed algorithm optimization problem working tube gas heaters in building structures. **Originality.** In the article there is an algorithm for solving the optimal parameters of the tube gas heaters in the building construction, which is carried out according to two criteria, at the same time contradict each other. It was proved the convergence solutions Pareto optimization of the innovation project construction with tube gas heaters in building constructions. **Practical value.** Is necessary to find a balance between capital and operating costs for the design of the tube gas heaters in structures. Must be found not one criterion for the best solution of the heating system, was proposed to use multi-criteria selection that use an evolutionary algorithm to find solutions. Results of the solution of this problem will provide a positive impact for the entire construction project.

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

### Введення

Розглядається рішення задачі оптимізації інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами, що розташовані у будівельних конструкціях. Математична модель таких нагрівачів викладена у [6]. Сформульована задача аналізу – розрахунок параметрів теплового та гідравлічного режимів трубчастих газових нагрівачів при відомих конструктивних параметрах і параметрах експлуатації нагрівача, включає необхідні початкові умови для диференціальних рівнянь, що входять у математичну модель трубчастого нагрівача.

### Мета

Стаття присвячена викладенню задачі синтезу (оптимізації) – визначенню конструктивних параметрів нагрівача та параметрів його експлуатації, що може дати позитивний ефект.

### Методика

Досліджується нове технічне рішення (рис.1) трубчастий нагрівач з розміщенням каналів у будівельній конструкції. Для інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами, що розташовані у будівельних конструкціях необхідно вирішити задачу синтезу (прийняття рішення вибору оптимальних параметрів проектування).

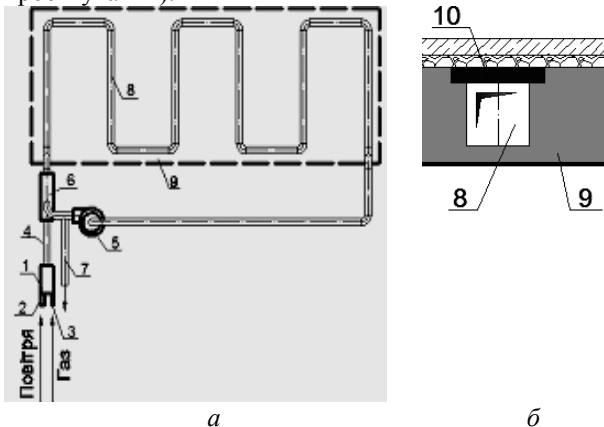


Рис.1. Трубчастий газовий нагрівач, розміщений у підлозі: / Tube gas heater located in the floor:

a – 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 – ежектор; 7 - патрубок відводу газоповітряної суміші; 8 - канали газоповітряної суміші; 9 – конструкція підлоги; 10 - бетонна пластина. /

a - plan; b - 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 – ejector; 7 - drain pipe of gas mixture; 8 - channels of gas mixture; 9 - floor construction; 10 - concrete plate.

Серед вимог при рішенні задач синтезу трубчастих газових нагрівачів трапляються такі вимоги, що суперечать одна одній. Тоді необхідно одночасно розв'язувати задачу оптимізації при наявності двох критеріїв [3, 7-9]. Таку задачу будемо розглядати далі для трубчастих газових нагрівачів, що розташовані у будівельних конструкціях. Для визначеності будемо розглядати задачу синтезу з наступними критеріями: коефіцієнт корисної дії і довжина нагрівача, від якої залежать капітальні витрати.

Позначимо через  $x = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$  – сукупність параметрів трубчастого нагрівача, які визначають конструктивні і технологічні параметри та які задовольняють математичній моделі нагрівача  $x \in \Psi$ . Будемо вважати, що існують вирази для двох критеріїв  $E_1 = E_1(x)$ ,  $E_2 = E_2(x)$ .

Припускаємо, що для критерію  $E_1(x)$  існує бінарне відношення вибору  $R_{S1}$ , так що запис  $xR_{S1}y$  означає, що рішення  $x$  «краще» ніж рішення  $y$  по критерію  $E_1$ , тобто:

$$xR_{S1}y \Leftrightarrow E_1(x) \geq E_1(y) \quad (1)$$

Також вважаємо, що для критерію  $E_2$  існує бінарне відношення вибору  $R_{S2}$ , так що:

$$xR_{S2}y \Leftrightarrow E_2(x) \leq E_2(y) \quad (2)$$

Побудуємо складне відношення:

$$xR_{S12}y \Leftrightarrow xR_{S1}y \wedge xR_{S2}y \quad (3)$$

На підставі визначень (1) та (2) можна заключити, що  $R_{S1}$  і  $R_{S2}$  – відношення нестроного порядку [5], тобто мають властивості рефлексивності, транзитивності та антисиметричності. Тоді можна показати, що складне відношення (3) також буде відношенням нестроного порядку.

Відношення (3) також визначимо на множині  $\Psi$ , але не всякі елементи (можливі рішення) можна співставити за цим відношенням, тому що критерії  $E_1$  та  $E_2$  можуть суперечити один одному. Тому немає сенсу пошук найбільш переважного рішення по відношенню  $R_{S12}$  на множині  $\Psi$  і також немає сенсу у функції переваги [1] як функції вибору.

Розглянемо функцію вибору  $u$  вигляді блокування [1]:

$$S^{R_{S12}}(X) = \{x \in X / \forall y \in X \bar{y}R_{S12}x\} \quad (4)$$

Для функції вибору (4) будемо вважати, що мають місце сукупність вкладених одна в одну функцій блокування:

$$S_1^{R_{S12}}(X) \subset S_2^{R_{S12}}(X) \subset \dots \subset S_i^{R_{S12}}(X) \quad (5)$$

Відносно функції блокування вважаємо, що для усіх  $S_l^{R_{S12}}(X)$  з послідовності (5) має місце умова:

$$\forall S_l^{R_{S12}}(X) \quad mes S_l^{R_{S12}}(X) > 0 \quad (6)$$

Будемо вважати, що для пошуку за двома критеріями  $E_1$  та  $E_2$  застосовується алгоритм еволюційного пошуку у вигляді [2, 4]:

$$\begin{aligned} X_{jk} &= S^{R_{S12}}(G(X_{j,k-1})) \\ k &= 1, 2, \dots, n, \\ j &= 1, 2, \dots, N_B, \end{aligned} \quad (7)$$

де:  $k$  – крок ітераційного процесу пошуку;  $j$  – номер гілки еволюційного процесу;  $N_B$  – кількість гілок розрахунку еволюційного алгоритму;  $S^{R_{S12}}(X)$  – функція вибору у вигляді (4);  $G(X)$  – функція генерації:

$$G(X) = X \cup G_H(X) \quad (8)$$

де:  $G_H(X)$  – множина нових рішень, що породжені нечітким відношенням генерації  $R_G$  з функцією приналежності  $\mu_{R_G}(y, x): \Omega \times \Omega \rightarrow [0, 1]$ .

$$G_H(X) = \{y \in \Psi \mid \exists x \in X, \mu_{R_G}(x, y) > 0\} \quad (9)$$

Відносно функції генерації будемо вважати наступне. Якщо  $x_n$  – нове рішення  $x_n \in G_H(X)$ , то:

$$\forall l = 1, 2, \dots, n \quad P\{x_n \in S_l^{R_{S12}}(X)\} \geq \delta > 0 \quad (10)$$

де:  $\delta$  – похибка виконання умови.

Встановлені вимоги, що забезпечують збіжність еволюційного пошуку Парето – оптимальних рішень у задачі синтезу для трубчастих газових нагрівачів. Під збіжністю послідовності  $X_k$  до множини послідовності  $S_l^{R_{S12}}(X)$  з вірогідністю 1 вважається наступне. Який би не був порядковий номер  $j$  послідовності  $S_j^{R_{S12}}(X)$ ,  $j = 1, 2, \dots, l$ ,

знайдеться такий номер  $K$ , що для усіх  $k \geq K$  з вірогідністю 1 буде виконано  $X_k \subset S_j^{R_{S12}}(X)$ .

Має місце наступна теорема. Якщо сукупність вкладених функцій блокування (5) має властивість (6), функція генерації (8), (9) має властивість (10), а відношення  $R_{S1}$  і  $R_{S2}$  – збіжність послідовності  $X_{jk}$  до множини послідовності  $S_l^{R_{S12}}(X)$  з вірогідністю 1.

### Результати

Сформульовані умови рішення задачі Парето оптимізації інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях. Для рішення даної задачі запропоновано використовувати багатокритеріальний відбір із залученням алгоритму еволюційного пошуку найбільш переважних рішень.

### Наукова новизна і практична значимість

При рішенні задачі багатокритеріальної оптимізації інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях визначено конструктивні параметри трубчастого газового нагрівача та параметри його експлуатації. Результати рішення даної задачі забезпечать позитивний ефект для всього проекту будівництва.

### Висновки

Визначена задача багатокритеріального відбору Парето – оптимальних рішень для трубчастого газового нагрівача у будівельній конструкції. Результати задачі дозволять при наявності двох критеріїв отримати оптимальні параметри для якісного проекту даних нагрівачів. Доведена збіжність результатів розрахунку задачі оптимізації.

### 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. Ногин В. Д. Принятие решений при многих критериях : учебно - методическое пособие / В. Д. Ногин. – Санкт-Петербург : ЮТАС, 2007. – 104 с.
4. Стратан Ф. И. Эволюционные алгоритмы поиска оптимальных решений / Ф. И. Стратан, В. Ф. Иродов // Методы оптимизации при проектировании систем теплогазоснабжения. – Кишинев, 1984. – С. 16–30.
5. Теория выбора и принятия решений : учебное пособие / И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов. – Москва : Наука, 1982. – 330 с.
6. Чорноморець Г. Я. Математичне моделювання трубчастих газових нагрівачів, розташованих у будівельних конструкціях / Г. Я. Чорноморець, В. Ф. Иродов // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харків. нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2012. – Вип. 68. – С. 395–399.

7. Emmerich M. Multicriteria Optimization and Decision Making [Virtual Resource] / Michael Emmerich, Andr'e Deutz // LIACS Master Course. –2006.– 84 p. – Access Mode : URL : <http://natcomp.liacs.nl/MOB/material/mco4.pdf>. – Title from Screen. – Date of Access : 28 September 2015.
8. Ivanov S. Y. Multiobjective optimization of industrial petroleum processing units using Genetic algorithms / S. Y. Ivanov, A. K. Ray // XV International Scientific Conference “Chemistry and Chemical Engineering in XXI century” dedicated to Professor L.P. Kulyov / University of Western Ontario, Department of Chemical and Biochemical Engineerin – Canada, 2014.– pp. 7–14.
9. 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. Irodov V.F. *O postroenii i skhodimosti algoritmov samoorganizatsii sluchaynogo poiska* [The construction and convergence of random search algorithms for self-organization]. *Avtomatyka – Automation*, 1987, issue 4, pp. 34–43. (in Russian).
3. Nogin V.D. *Prinjatje reshenij pri mnogih kriterijah* [Decision-making in many kriteriyah]. Sankt-Peterburg, JuTAS Publ., 2007. 104 p. (in Russian).
4. 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).
5. 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).
6. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Matematychni modeliuvannia trubchastykh hazovykh nahrivachiv, roztashovanykh u budivelnnykh konstruksiiakh* [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).
7. Emmerich M. and Deutz A. *Multicriteria Optimization and Decision Making*. LIACS Master Course., 2006, 84 p. Available at : URL: <http://natcomp.liacs.nl/MOB/material/mco4.pdf>. (Access : 28 September 2015). (in English).
8. Ivanov S.Y. and Ray A.K. Multiobjective optimization of industrial petroleum processing units using Genetic algorithms. *XV International Scientific Conference “Chemistry and Chemical Engineering in XXI century” dedicated to Professor L.P. Kulyov*. Canada, 2014.– pp. 7–14. (in English).
9. Zitzler E. and Thiele L. *An evolutionary algorithm for multiobjective optimization the strength Pareto approach*. Zurich, TIK – Report Publ., 1998. 43 p. (in English).

Стаття надійшла в редколегію 08.09.2016