

УДК 697:519.81

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.300819.30.508

ЕВОЛЮЦІЙНИЙ ПОШУК ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЗАДАЧАХ СОНЯЧНОЇ АРХІТЕКТУРИ

ПРОДОВ В. Ф.^{1*}, д. т. н., проф.,

ТКАЧОВА В. В.², к. т. н., доц.,

ЧОРНОМОРЕЦЬ Г. Я.³, к. т. н., доц.

^{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) 756-34-06, e-mail: irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

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) 756-33-49, e-mail: tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

³ 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: chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

Анотація. *Постановка проблеми.* У цій статті під терміном «сонячна архітектура» розуміється архітектурний підхід до виконання комплексних завдань, пов'язаних із поновлюваною сонячною енергією. При цьому повинні використовуватися результати, які стосуються термодинаміки, теплопередачі, будівництва, електроніки, матеріалознавства, енергозбереження. Вона повинні сприяти прийняттю спільних рішень, які виходять за рамки зазначених наукових дисциплін. Проблема полягає у визначенні прийняття спільних рішень у задачах сонячної енергетики. *Аналіз останніх досліджень.* Наукові результати останніх років у цій галузі обмежувалися розв'язанням задач аналізу, а задачі синтезу не розглядалися, оскільки не було запропоновано загальних механізмів у прийнятті рішень. Значна роль у розв'язанні задач сонячної архітектури, безумовно, відводиться прийняттю рішень. Методом розв'язання системних задач у сфері сонячної архітектури можуть слугувати алгоритми еволюційного пошуку рішень. *Мета.* Дослідження – розроблення загального підходу до розв'язання задач синтезу сонячної архітектури. Розроблений підхід повинен забезпечити розрахунок задач складної природи у сфері сонячної архітектури. Задачу складає розроблення схем алгоритму еволюційного пошуку, що застосовуються для розв'язання задач у прийнятті рішень сонячної архітектури. *Висновки.* Запропоновано конкретні схеми еволюційних алгоритмів, які можна застосувати для вирішення поставлених завдань. На заключному етапі прийняття рішень з різноманітними характеристиками запропоновано застосовувати алгоритм еволюційного пошуку. Викладено дві схеми алгоритму пошуку рішень: схема алгоритму еволюційного пошуку з функцією вибору у вигляді переваги; схема алгоритму еволюційного пошуку з функцією вибору у вигляді блокування.

Ключові слова: еволюційний пошук; прийняття рішень; алгоритм розрахунку; сонячна архітектура; енергозбереження; енергоефективність

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОИСК ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ СОЛНЕЧНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

ПРОДОВ В. Ф.^{1*}, д-р техн. наук, проф.,

ТКАЧЕВА В. В.², канд. техн. наук, доц.,

ЧЕРНОМОРЕЦ Г. Я.³, канд. техн. наук, доц.

^{1*} Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (056) 756-34-06, e-mail: irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

² Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

³ Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

Аннотация. *Постановка проблемы.* В данной статье под термином «солнечная архитектура» понимается архитектурный подход к решению комплексных задач, связанных с возобновляемой солнечной энергией. При этом должны использоваться результаты, которые относятся к термодинамике, теплопередаче, строительству, электронике, материаловедению, энергосбережению. Они должны приводить к принятию общих решений,

которые выходят за рамки указанных научных дисциплин. Проблема состоит в определении принятия общих решений в задачах солнечной энергетики. **Анализ последних исследований.** Научные результаты последних лет в данной области ограничивались решением задач анализа, а задачи синтеза не рассматривались, поскольку не было предложено общих механизмов в принятии решений. Значительная роль в решении задач солнечной архитектуры, безусловно, отводится принятию решений. Методом решения системных задач в области солнечной архитектуры могут служить алгоритмы эволюционного поиска решений. **Целью** данного исследования является разработка общего подхода к решению задач синтеза солнечной архитектуры. Разработанный подход должен обеспечить расчет задач сложной природы в сфере солнечной архитектуры. Задачей является разработка схем алгоритма эволюционного поиска, применяемых для решения задач в принятии решений солнечной архитектуры. **Выводы.** Предложены конкретные схемы эволюционных алгоритмов, которые можно применить для решения поставленных задач. На заключительном этапе принятия решений с различными характеристиками предложено применять алгоритм эволюционного поиска решений. Изложены две схемы алгоритма поиска решений: схема алгоритма эволюционного поиска с функцией выбора в виде предпочтения; схема алгоритма эволюционного поиска с функцией выбора в виде блокировки.

Ключевые слова: эволюционный поиск; принятие решений; алгоритм расчета; солнечная архитектура; энергосбережение; энергоэффективность

EVOLUTIONARY SEARCH FOR DECISION MAKING IN SOLAR ARCHITECTURE PROBLEMS

IRODOV V.F.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
TKACHOVA V.V.², *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
CHORNOMORETS H.Ya.³, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

^{1*} Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-34-06, e-mail: irodov.viacheslav@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

² Department of Systems Analysis and Modeling Heat and Gas Supply, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-49, e-mail: tkachova.valeriia@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

³ Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-49, e-mail: chornomorets.halyna@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4964-5785

Abstract. Problems formulation. In this article, the term "solar architecture" refers to the architectural approach to solve complex problems related to renewable solar energy. In this case, such results that relate to thermodynamics, heat transfer, construction, electronics, materials science, energy saving should be used. These results should lead to the common decision making that goes beyond these scientific disciplines. The problem is to determine the common decisions in the problems of solar energy. **Recently research analysis.** The scientific results of recent years in this area were limited to solve analysis problems, and synthesis problems were not considered, since no general mechanisms for making decisions were proposed. A significant role in solving the problems of solar architecture, of course, is given to decision making. Algorithms for evolutionary search for solutions can serve as a method for solving systemic problems in the field of solar architecture. **Purpose and tasks.** The purpose of this study is to develop a general approach to solve the problems of synthesis of solar architecture. The developed approach should provide the calculation of tasks of complex nature in the field of solar architecture. The task is to develop evolutionary search algorithm schemes that are used to solve solar architecture decision-making problems. **Conclusions.** Specific schemes of evolutionary algorithms that can be applied to solve the tasks are proposed. At the final stage of decision-making with different characteristics, it is proposed to apply the algorithm of evolutionary search for decisions. Two schemes of algorithm of search of the decision are presented: scheme of algorithm of evolutionary search with function of choice in the form of advantage; diagram of an evolutionary search algorithm with a block selection function.

Keywords: evolutionary search; decision making; calculation algorithm; solar architecture; energy saving; energy efficiency

Постановка проблеми. Наразі до поняття сонячної архітектури відносять архітектурний підхід до зведення різноманітних будівель, які використовують чисту і поновлювану сонячну енергію. При цьому застосовується цілий комплекс наукових знань: термодинаміка,

теплопередача, будівництво, електроніка, матеріалознавство, енергосбереження.

Для такої архітектури характерна специфіка як пасивного сонячного будівельного дизайну, так і активного.

Значна роль у розв'язанні задач сонячної архітектури, безумовно, відводиться

прийняттю рішень. Науковою основою для прийняття подібних складних рішень можуть бути методи системного аналізу [1; 6; 9; 10]. Ця стаття описує один із напрямків розв'язання задач складної природи, який може бути застосований для сонячної архітектури – еволюційний пошук рішень.

Аналіз публікацій. При всьому різноманітті наукових та практичних робіт [4; 5] маловивченим залишається питання прийняття рішень у задачах сонячної архітектури.

Методом розв'язання системних задач у галузі сонячної архітектури можуть слугувати алгоритми еволюційного пошуку рішень [2; 3; 7; 8; 11].

Мета статті – розробити алгоритм еволюційного пошуку для розв'язання задач сонячної архітектури. Алгоритм повинен забезпечити розрахунок задач складної природи у сфері сонячної архітектури.

Виклад основного матеріалу. Для розв'язання задач сонячної архітектури використовується алгоритм еволюційного пошуку найбільш переважних рішень, принципова схема якого наведена на рисунку 1.

Необхідно знайти $x = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$ на множині $x \in \Omega$. Будь-які два елемента знаходяться у бінарному відношенні $xR_S y, \forall y \in \Omega$. Пошук оптимального рішення має вигляд (1) – (8):

$$X_{j_k} = S(G(X_{j_{k-1}})), k=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, N_G, (1)$$

де X_{j_k} – множина найбільш переважних рішень по відношенню вибору R_S k -го кроку ітерації для j -ї гілки еволюційного процесу;

$X_{j_{k-1}}$ – те ж саме для $(k-1)$ -го кроку ітерації;

$G(X)$ – функція генерації, яка породжена відношенням генерації R_G :

$$G(X) = X \cup G_n(X), (2)$$

$$G_n(X) = \{y \in \Omega / \exists x \in X, yR_G x, \mu_{R_G}(y, x) > 0\} (3)$$

де: R_G – нечітке відношення генерації з функцією приналежності

$$\mu(y, x): \Omega \times \Omega \rightarrow [0, 1].$$

$S(X)$ – функція вибору, яка породжена відношенням вибору:

$$S(X) = \{x \in X / \forall y \in [X \setminus S(X)], xR_S y\}. (4)$$

Вважається що функція генерації містить кількість рішень – N_e , а функція вибору – N_k рішень.

Оцінки математичного очікування:

$$x_0^i = (\sum_{j=1}^{N_G} \sum_{l=1}^{N_K} x_{lj}^i) / (N_G \cdot N_K). (5)$$

$$l = 1, 2, \dots, N_K, \quad j = 1, 2, \dots, N_G (6)$$

Емпіричні дисперсії:

$$\sigma_i^2 = (\sum_{j=1}^{N_G} \sum_{l=1}^{N_K} (x_{lj}^i - x_0^i)^2) / (N_G \cdot N_K - 1) (7)$$

Досягнення заданої точності:

$$E < \varepsilon, (8)$$

де ε – відомий параметр досягнення точності розв'язання задачі.

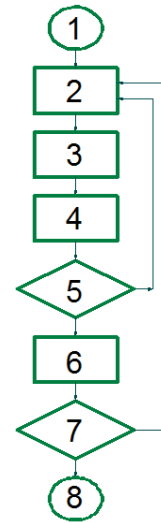


Рис. 1. Блок-схема алгоритму еволюційного пошуку з функцією вибору у вигляді переваги /

Fig. 1. Flowchart evolutionary algorithm search with function selection as a preference

У блоці 1 розробленого алгоритму вводяться вхідні дані. Невідомі параметри еволюційного пошуку:

$$x = \{x_i\}, i = 1, 2, \dots, n. (9)$$

У блоці 2 розробленого алгоритму генеруються випадковим шляхом значення (9).

У блоці 3 розробленого алгоритму розраховуються цільові функції (E) для кожного можливого рішення.

У блоці 4 алгоритму з усіх рішень N_e вибираються кращі рішення (N_k) для даної гілки еволюційного процесу за критерієм E .

У блоці 5 відбувається розрахунок усіх гілок процесу (N_T).

У блоці 6 алгоритму відбувається розрахунок нових значень параметрів випадкового пошуку на наступному кроці ітераційного процесу.

У блоці 7 перевіряється, чи досягнута запланована точність пошуку, якщо так, то задача вважається розв'язаною, якщо ні, то переходимо знов до генерації можливих рішень.

Блок 8 – кінець.

Ітераційний процес продовжується до досягнення запланованої точності визначення параметрів. Контроль за сходженням еволюційного пошуку здійснюється по значеннях невідомих параметрів у всіх незалежних гілках еволюційного процесу.

Розв'язуючи задачі синтезу сонячної архітектури з вимогами, що суперечать одна одній, одночасно необхідно розв'язувати задачу оптимізації за наявності двох функцій вибору.

Для розв'язання задачі синтезу з двома бінарними відношеннями вибору використовується алгоритм еволюційного пошуку, принципова схема якого наведена на рисунку 2.

Даний алгоритм еволюційного пошуку схожий з попереднім, але для розв'язання таких задач немає сенсу у функції переваги як функції вибору, тому використовується функція вибору у вигляді блокування.

$$X_{jk} = S^{R_{S12}}(G(X_{jk-1})), k=1, 2, \dots, n, \\ j=1, 2, \dots, N_T. \quad (10)$$

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

$$G(X) = X \cup G_H(X), \quad (11)$$

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

$$G_H(X) = \{y \in \Psi \mid \exists x \in X, y R_G x, \mu_{R_G}(x,y) > 0\} \quad (12)$$

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

$$\forall l = 1, 2, \dots, n P\{x_n \in S_l^{R_{S12}}(X)\} \geq \delta > 0, \quad (13)$$

де δ – похибка виконання умови.

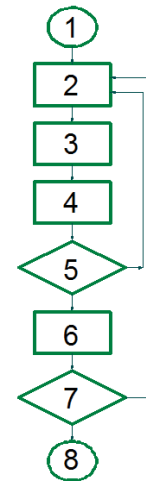


Рис. 2. Блок-схема алгоритму еволюційного пошуку з функцією вибору у вигляді блокування / Fig. 2. Flowchart evolutionary algorithm search with function selection as a block

У блоці 1 розробленого алгоритму вводяться вхідні дані – сукупність параметрів трубчастого нагрівача, які визначають конструктивні і технологічні параметри та які задовольняють математичній моделі нагрівача $x \in \Psi$:

$$x = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}. \quad (14)$$

У блоці 2 розробленого алгоритму генеруються випадковим шляхом можливі рішення (14).

У блоці 3 розробленого алгоритму для кожного набору (14) розраховуються цільові функції.

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_{S_1} , отже запис $xR_{S_1}y$ означає, що рішення x «краще», ніж рішення y по критерію E_1 , тобто:

$$xR_{S_1}y \Leftrightarrow E_1(x) \geq E_1(y). \quad (15)$$

Також вважаємо, що для критерію E_2 існує бінарне відношення вибору R_{S_2} , отже:

$$xR_{S_2}y \Leftrightarrow E_2(x) \leq E_2(y). \quad (16)$$

Тоді складне відношення:

$$xR_{S_{12}}y \Leftrightarrow xR_{S_1}y \wedge xR_{S_2}y. \quad (17)$$

На підставі визначень (15) та (16) можна зробити висновок, що R_{S_1} і R_{S_2} – відношення нестрогого порядку, тобто мають властивості рефлексивності, транзитивності та антисиметричності. Тоді можна показати, що складне відношення (17) також буде відношенням нестрогого порядку. Відношення (17) також визначимо на множині Ψ , але не всякі елементи (можливі рішення) можна співставити за цим відношенням, тому що критерії E_1 та E_2 можуть суперечити один одному. Тому не має сенсу пошук найбільш переважного

рішення по відношенню $R_{S_{12}}$ на множині Ψ і також немає сенсу у функції переваги як функції вибору.

У блоці 4 алгоритму з усіх рішень N_e вибираються N_k рішень, кращих за критерієм (17).

Функція вибору у вигляді блокування:

$$S^{R_{S_{12}}}(X) = \{x \in X \wedge \forall y \in X y \bar{R}_{S_{12}} x\}. \quad (18)$$

Для функції вибору (18) мають місце сукупності вкладених одна в одну функцій блокування:

$$S_1^{R_{S_{12}}}(X) \subset S_2^{R_{S_{12}}}(X) \subset \dots \subset S_l^{R_{S_{12}}}(X). \quad (19)$$

Висновок. На заключному етапі прийняття рішень з різноманітними характеристиками запропоновано застосовувати алгоритм еволюційного пошуку рішень.

Викладено дві схеми алгоритму пошуку рішень:

- 1) схема алгоритму еволюційного пошуку із функцією вибору у вигляді переваги;
- 2) схема алгоритму еволюційного пошуку із функцією вибору у вигляді блокування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Моделі 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. Табунщиков Ю. А. Строительные концепции зданий XXI века в области теплоснабжения и климатизации / Ю. А. Табунщиков // Архитектура и строительство Москвы. – 2006. – № 2–3. – С. 49–53.
5. Табунщиков Ю. А. Энергоэффективное здание : синтез архитектуры и технологий / Ю. А. Табунщиков // Архитектура и строительство Москвы. – 2003. – № 2–3. – С. 14–23.
6. Теория выбора и принятия решений : учебное пособие / [И. М. Макаров, Т. М. Виноградская, А. А. Рубчинский, В. Б. Соколов]. – Москва : Наука, 1982. – 330 с.
7. Чорноморець Г. Я. Збіжність рішень Парето оптимізації інноваційного проекту будівництва з трубчастими газовими нагрівачами у будівельних конструкціях / Г. Я. Чорноморець, В. Ф. Іродов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2016. – Вып. 92. – С. 173–177.
8. Чорноморець Г. Я. Побудова чисельного методу Гальоркіна з використанням алгоритму еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень / Г. Я. Чорноморець, В. Ф. Іродов // Строительство, материаловедение, машиностроение. – 2015. – № 86. – С. 132–137.
9. Фогель Л. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование / [Л. Фогель, А. Уолш]. – Москва : Мир, 1969. – 228 с.
10. Юдин Д. Б. Вычислительные методы теории принятия решений : монография / Д. Б. Юдин. – Москва : Наука, 1989. – 320 с.

11. Irodov V. Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations / V. Irodov // Journal Systems Analysis Modeling Simulation. – New-York, USA Inc: Gordon and Breach Science Publishers, 1995. – Vol. 18–19. – Pp. 203 – 206.

REFERENCES

1. Voloshyn O.F. and Mashchenko S.O. *Modeli ta metody pryyniattia rishen* [Models and methods of decision-making]. Kyiv : Kyiv University 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, iss. 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. Tabunshhikov Ju.A. *Stroitel'nye koncepcii zdaniy XXI veka v oblasti teplosnabzheniya i klimatizatsii* [Construction concepts of buildings of the XXI century in the field of heat supply and air conditioning]. *Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy* [Moscow Architecture and Construction]. 2006, iss. 2–3, pp. 49–53. (in Russian).
5. Tabunshhikov Ju.A. *Jenergojefektivnoe zdanie: sintez arhitektury i tehnologij* [Energy Efficient Building : A Synthesis of Architecture and Technology]. *Arhitektura i stroitel'stvo Moskvy* [Moscow Architecture and Construction]. 2003, iss. 2–3, pp. 14–23. (in Russian).
6. 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]. Moscow : Nauka Publ., 1982, 330 p. (in Russian).
7. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Zbizhnist` rishen` Pareto opty`mizatsiyi innovacijnogo proektu budivny`ctva z trubchasty`my` gazovy`my` nagrивachamy` u budivel`ny`x konstrukciyax* [Zbizhnist solution Pareto optimizatsii innovatsiynny project budivnitsva with pipe-like gas heats at the alarm constructions]. *Stroy`tel`stvo, matery`alovedeny`e, mashy`nostroeny`e* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering], 2016, iss. 92, pp. 173–177. (in Ukrainian).
8. Chornomorets H.Ya. and Irodov V.F. *Pobudova chysel'noho metodu Hal'orkina z vykorystannyam alhorytmu evolyutsiynoho poshuku naybil'sh pryvablyvykh rishen'* [Numerical galerkin method using algorithm of evolutionary search the preferred solution]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2015, iss. 86, pp. 132–137. (in Russian).
9. Fogel L. and Uolsh A. *Iskusstvennyy intellekt i evolyutsionnoye modelirovaniye* [Artificial intelligence and evolutionary modeling]. Moscow : Peace Publ., 1969, 228 p. (in Russian).
10. Yudin D.B. *Vychislitelnyye metody teorii prinyatiya resheniy* [Computational methods of decision theory]. Moscow: Science Publ., 1989, 320 p. (in Russian).
11. Irodov V.F. Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations. Journal Systems Analysis Modeling Simulation. New-York, USA Inc: Gordon and Breach Science Publishers, 1995, vol. 18–19, pp. 203–206.

Надійшла до редакції 24.06.2019 р.