

УДК 697.7 – 027.45

ЕВОЛЮЦІЙНИЙ ПОШУК ДЛЯ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРТНОГО СПІВСТАВЛЕННЯ ДЕКІЛЬКОХ ОДНОРІДНИХ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ

ТКАЧОВА В. В.^{1*}, *к.т.н, доц.*,
ПРОДОВ В.Ф.², *д.т.н, проф.*

^{1*} Кафедра теплотехніки і газопостачання, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. (0562) 47-17-22, e-mail: leratkacheva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

² Кафедра теплотехніки і газопостачання, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. (0562) 47-17-22, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

Анотація. Мета. При проектуванні та експлуатації нових технічних елементів пред'являються обов'язкові вимоги до надійності. При цьому виникає задача визначення показників надійності. Це вимога нових технічних умов. Показники надійності входять до числа нормованих вимог при розробці нових технічних елементів і систем. Для нових систем виникає суперечність - потрібно привести оцінку показників надійності, ще не маючи досвіду їх тривалої експлуатації. Традиційний метод отримання показників надійності обладнання або технічних систем - це статистичний аналіз за результатами їх тривалої експлуатації. Одним з можливих шляхів вирішення питання надійності є використання методу експертних оцінок, а не статистичних методів. Зокрема, така ситуація склалася з трубчастими газовими нагрівачами (ТГН), які отримали досить широке поширення для теплопостачання промислових підприємств. З іншого боку, час спостереження за їх експлуатацією вимірюється лише кількома роками. На таких коротких вибірках отримати достовірні статистичні оцінки нереально. В такому випадку, для отримання оцінок показників надійності, можна використати метод експертних оцінок. Зокрема, метод Т. Сааті попарного співставлення факторів між собою. В результаті попарного співставлення факторів, будується матриця, користуючись грубою шкалою важливості. Традиційно, матриця Т. Сааті обробляється шляхом визначення вектора власних значень матриці. Матриця повинна бути повністю заповненою. Результат знаходження власних значень матриці досить чутливо залежить від можливих коливань у значеннях матриці. В даній роботі для обробки матриці Т. Сааті пропонується використати алгоритм еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень. Завдяки формулюванню задачі вибору рішень у вигляді правила переваги (вибору), еволюційний пошук розширює можливості обробки експертних оцінок, зокрема, можливу некоректність пошуку рішень за рахунок використання додаткового критерію (стабілізатора). **Методика.** Використовується загальний алгоритм еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень. Будується правило переваги (вибору рішення), яке в процесі еволюційного пошуку дозволяє отримати шукане розв'язання. **Результати.** За допомогою еволюційного пошуку і матриці Т. Сааті виконано оцінювання параметрів відмови трубчастих газових нагрівачів. Показано, що застосування еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень дозволяє удосконалити обробку експертних оцінок за допомогою цієї матриці. Такий спосіб надає можливість обробляти результати експертної оцінки при неповній матриці, а також враховувати додаткову, крім цієї матриці, інформацію про об'єкти, що співставляються при побудові функції вибору рішення. **Наукова новизна.** Запропоновано підхід до обробки результатів експертного оцінювання по матриці Т. Сааті за допомогою еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень. **Практична значимість.** Використання еволюційного пошуку для обробки експертних оцінок, що ґрунтуються на методі Т. Сааті, дає переваги, які полягають у можливостях гнучкого формулювання вимог, що пред'являються процедурі обробки експертних оцінок.

Ключові слова: Обробка експертних оцінок, матриця Т. Сааті, показники надійності, частота відмов, роботоздатність, еволюційний пошук

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ ПОИСК ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРТНОГО СОПОСТАВЛЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ОДНОРОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ

ТКАЧЕВА В. В.^{1*}, *к.т.н, доц.*,
ПРОДОВ В.Ф.², *д.т.н, проф.*

^{1*} Кафедра теплотехники и газоснабжения, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. (0562) 47-17-22, e-mail: leratkacheva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

² Кафедра теплотехники и газоснабжения, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. (0562) 47-17-22, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

Аннотация. Цель. При проектировании и эксплуатации новых технических элементов предъявляются обязательные требования к надежности. При этом возникает задача определения показателей надежности. Это требование новых технических условий. Показатели надежности входят в число нормируемых требований при разработке новых технических элементов и систем. Для новых систем возникает противоречие – необходимо провести оценку этих показателей, еще не имея опыта их длительной эксплуатации. Традиционный метод получения показателей надежности оборудования или технических систем – это статистический анализ по результатам их длительной эксплуатации. Одним из возможных путей решения является использование метода экспертных оценок, а не статистических методов. В частности, такая ситуация сложилась с трубчатыми газовыми нагревателями (ТГН), которые получили достаточно широкое распространение для теплоснабжения промышленных предприятий. С другой стороны, время наблюдаемой их эксплуатации измеряется лишь несколькими годами. На таких коротких выборках получить достоверные статистические оценки нереально. В таком случае, для получения оценок показателей надежности, можно использовать метод экспертных оценок. В частности, метод Т. Саати попарного сопоставления факторов между собой. В результате попарного сопоставления факторов, строится матрица, пользуясь грубой шкалой важности. Традиционно, матрица Т. Саати обрабатывается путем определения вектора собственных значений матрицы. Матрица должна быть полностью заполненной. Результат нахождения собственных значений матрицы Т. Саати достаточно чувствительно зависит от возможных колебаний в значениях матрицы. В данной работе для обработки этой матрицы предлагается использовать алгоритм эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений. Благодаря формулировке задачи выбора решений в виде правила предпочтения (выбора), эволюционный поиск расширяет возможности обработки экспертных оценок, в том числе возможную некорректность поиска решений, за счет использования дополнительного критерия (стабилизатора). **Методика.** Используется общий алгоритм эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений. Строится правило предпочтения (выбора решения), которое в процессе эволюционного поиска позволяет получить искомое решение. **Результаты.** При помощи эволюционного поиска и матрицы Т. Саати выполнено оценивание частоты отказов работоспособности трубчатых газовых нагревателей. Показано, что применение эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений позволяет усовершенствовать обработку экспертных оценок с помощью матрицы Т. Саати. Такой способ предоставляет возможность обрабатывать результаты экспертной оценки при неполной матрице, а также учитывать дополнительную, кроме этой матрицы информацию о сопоставляемых объектах при построении функции выбора решений. **Научная новизна.** Предложен подход к обработке результатов экспертного оценивания по матрице Т. Саати при помощи эволюционного поиска наиболее предпочтительных решений. **Практическая значимость.** Использование эволюционного поиска для обработки экспертных оценок, основываясь на методе Т. Саати, дает преимущества, заключающиеся в возможностях гибкой формулировки требований, предъявляемых процедуре обработки экспертных оценок.

Ключевые слова: Обработка экспертных оценок, матрица Т. Саати, показатели надежности, частота отказов, работоспособность, эволюционный поиск

EVOLUTIONARY SEARCH FOR PROCESSING THE RESULTS EXPERT COMPARISONS SEVERAL HOMOGENEOUS RELIABILITY

ТКАНОВА В. В.^{1*}, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. prof.*,
ИРОДОВ В. Ф.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*

^{1*} Department of heat technic and gas supply, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. (0562) 47-17-22, e-mail: leratkacheva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9943-1852

² Department of heat technic and gas supply, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. (0562) 47-17-22, e-mail: vfirodov@i.ua, ORCID ID: 0000-0001-8772-9862

Abstract. Purpose. There are regulations requirements for reliability in the projecting and exploitation of new technical elements. The determining task in the parameters of reliability is appeared. It is a requirement in the latest specifications. There are reliability indices among the standardized requirements for the development of new technical elements and systems. There are contradictions for the latest systems. It is necessary to give an estimate of reliability, when there were no long-term experiences of their long exploitation. The traditional method for receiving of reliability indices of equipment or technical systems is the statistical analysis of the results of their long-term exploitation. Statistical method is not a solution of this problem, but we think that using the method of expert estimations can be a better way to solve this problem. In particular, this situation became a real problem for tube gas heaters (TGH). These heaters are widespread for heat supply to industrial plants. To other side, the term of exploitation TGH is counted for only a few years. To get real statistical estimation is not possible on short-term exploitation. In this case for getting estimation of reliability parameters we can use the method of expert estimations. In particular, Thomas Saaty method of pairwise comparison of the factors. Following, T. Saaty method we can create a matrix of pairwise comparisons using approximate scale of importance. Traditionally the T. Saaty matrix is processing by finding the vector of their own values. The matrix must be completely filled. The result of the vector of matrix value depends on possible fluctuations in the values of this matrix. For processing of this matrix we offer to use an evolutionary random search of more preferable (R_s -optimal) solutions. According to formulation the purpose of choosing solutions in the form of rules of preference, the evolutionary search expands capabilities of expert estimations, including incorrect possible of looking for solutions though using of additional criterion (stabilizer). **Methodology.** General algorithm of evolutionary random search of more preferable (R_s -optimal) solutions is used. The rule of preference (choice of

solutions) is create, which let to get the desired solution in evolutionary random search. **Findings.** The estimation of failure rates efficiency for tube gas heaters according to the Thomas Saaty matrix and evolutionary random search of more preferable solutions has been completed. The application of evolutionary random search of more preferable solutions allows to improve the processing of expert estimates using T. Saaty matrix. Such a method provides the ability to process the results of of expert estimations incomplete T. Saaty matrix. And to consider the additional matrix, except this one information on the compared objects at construction function selection decisions. **Originality.** The approach to the processing of the results of expert estimation of the matrix T. Saaty using evolutionary random search of more preferable solutions is proposed. **Practical value.** Using evolutionary search for the processing of expert estimations, which is based on the Thomas Saaty method. It gives advantages in the flexibilities to formulation requirements for the procedure of processing of expert estimations.

Keywords: method of expert estimations, the matrix T. Saaty, indice of reliability, failure rates, efficiency, evolutionary search

Вступ

При проектуванні та експлуатації нових технічних елементів пред'являються обов'язкові вимоги до надійності. При цьому виникає задача визначення показників надійності. Ця вимога нових технічних умов. Одним з можливих шляхів вирішення є використання методу експертних оцінок, а не статистичних методів.

Зокрема, така ситуація склалася з трубчастими газовими нагрівачами. Для цих цілей використовувався метод експертних оцінок.

Мета

Метою даної роботи є пошук нових більш досконалих методів обробки результатів експертної оцінки при неповній матриці Т. Сааті та облік додаткової, крім матриці Т. Сааті, інформації про об'єкти, що зіставляються, при побудові функції вибору рішень.

Методика

Відомі роботи Т. Сааті з розвитку методів експертної оцінки та обробці їх даних [9-15].

В даній роботі розглядаються можливості застосування еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень для обробки експертних оцінок. Розглянуто два випадки: 1. Безумовна відповідність шуканого розв'язання результатам попарного порівняння; 2. Крім умови відповідності шуканого розв'язання результатам відповідності матриці, залучається додатковий критерій (стабілізатор). В даній роботі в якості стабілізатора запропоновано використання усунення невизначеності - приналежність параметрів діапазнам можливих значень.

В якості основи для експертного оцінювання розглядається побудова та обробка відомої матриці Т. Сааті [1,5,6,12]. Дуже часто для отримання коефіцієнтів важливості подібних об'єктів використовуються експертні процедури. Одна з них, запропонована Т. Сааті, полягає в наступному. Нехай для подібних об'єктів з номерами $i = 1, 2, \dots, n$ потрібно визначити коефіцієнти важливості $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$. Під коефіцієнтами важливості розуміємо довільні однорідні відносні величини.

Експерт дає наближену оцінку подібних величин, у вигляді: "Наскільки об'єкт i важливіше об'єкта j ". Так, якщо порівнюється перший об'єкт із сукупності з усіма іншими, то числові дані можна представити у вигляді:

$$a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1n} \quad (1)$$

Якщо другий об'єкт порівнюється з усіма іншими, то числові дані

$$a_{21}, a_{22}, a_{23}, \dots, a_{2n}, \text{ тощо.} \quad (2)$$

Тоді всі результати зіставлення будуть мати вигляд квадратної матриці:

$$A = \{a_{ij}\}_{i=1, n; j=1, n} \quad (3)$$

де на місці i -го ряду і j -го стовпця стоїть число, яке дає наближену оцінку "наскільки об'єкт i важливіше об'єкта j ". Наближена оцінка наводиться, тому що експерт не в змозі дати дуже точну оцінку. Якщо ми маємо з деяким надлишком наближені дані, то сенс подальшої обробки експертних оцінок полягає в тому, щоб отримати більш точну оцінку подібних величин.

При використанні еволюційного пошуку ми можемо відійти від методу експертних оцінок. Будемо вважати, що у нас є матриця, отримана за допомогою грубої шкали: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

Ця задача може бути сформульована, як задача пошуку найбільш привабливих рішень. Слідуючи Т. Сааті, шуканий вектор коефіцієнтів важливості визначається в результаті розв'язання системи рівнянь

$$A \times \vec{\alpha} = \lambda_{\max} \times \vec{\alpha}, \quad (4)$$

де λ_{\max} - максимальне власне значення матриці А.

Можна запропонувати більш наочну процедуру обробки експертних оцінок. Позначимо тут через x_i ($i = 1, n$) перший рядок "точної" матриці W.

$$x_i = W_{1i}; \quad i = 1, n. \quad (5)$$

Тоді інші елементи матриці W отримаємо у вигляді

$$W_{ij} = x_j / x_i; \quad i = 1, ; \quad j = 1, n. \quad (6)$$

Для розв'язання задачі $R \rightarrow \min$ можна використати еволюційний пошук значень x_1, x_2, \dots, x_n .

В загальному випадку між невідомою "точною" матрицею W і відомою наближеною матрицею A буде неузгодженість відповідних значень W_{ij} та a_{ij} . Очевидно, в якості умови визначення невідомої матриці W можна поставити умову мінімуму цієї неузгодженості, в сенсі середньоквадратичного відхилення, тобто вимагати

$$R = \frac{\sum_i \sum_j (W_{ij} - a_{ij})^2}{\sum_i \sum_j W_{ij}^2} \rightarrow \min \quad (7)$$

Для пошуку рішення $x = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$ такого, який виконується (7), можна застосувати еволюційний пошук найбільш привабливих рішень по відношенню вибору R_s [3].

Для нашого випадку відношення R_s має вигляд:

$$x R_s y \Leftrightarrow R_s(x) \leq R(y) \quad (8)$$

Загальна схема еволюційного алгоритму оптимального рішення:

$$X_{jk} = S(G(X_{j,k-1})), \quad k=1, 2, \quad (9)$$

де X_{jk} – безліч найбільш привабливих рішень по відношенню вибору R_s k -го кроку ітерації для j -ої гілки еволюційного процесу; $X_{j,k-1}$ – теж саме для $(k-1)$ -го кроку ітерації; $G(X)$ – функція генерації, породжена відношенням генерації R_G ; $S(X)$ – функція вибору, породжена відношенням вибору.

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

$$G(X) = X \cup Gn(X), \quad (10)$$

$$Gn(X) = \{y \in \Omega / \exists x \in X, y R x, \mu(y, x) > 0\}.$$

де R_G – нечітке відношення генерації з функцією приналежності $\mu(y, x) : \Omega \times \Omega \rightarrow [0,1]$. Вважається що функція генерації містить кількість рішень – N_g , а функція вибору – N_v рішень.

За допомогою еволюційного алгоритму та матриці Т. Сааті виконаємо оцінювання частоти відмов роботоздатності трубчастого газового нагрівача (частоти різного типу відмов роботоздатності).

Для взаємного зіставлення представлено шість видів можливих відмов роботоздатності (поломок) ТГН [2,16]:

1. Відмова (поломка) вентилятора;
2. Відмова (поломка) автоматики газового пальника;
3. Руйнування лінійної частини нагрівача від термічних напруг (руйнування труби);
4. Прогар лінійної частини нагрівача (прогар);

5. Відмова з причин випадіння конденсату в лінійній частині нагрівача або у вентиляторі (конденсат);

6. Відмова підвідної системи газопостачання.

Матриця експертного співставлення частоти відмов роботоздатності, що приведена у вигляді матриці Т. Сааті, має вигляд (табл.1):

Таблиця 1

Матриця співставлення частоти відмов роботоздатності трубчастого газового нагрівача / Matrix comparisons the failure rates efficiency of tube gas heater

| | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 1 | 2 | 6 | 4 | 2 | 2 |
| 2 | 1/2 | 1 | 6 | 5 | 2 | 2 |
| 3 | 1/6 | 1/5 | 1 | 1/2 | 1/3 | 1 |
| 4 | 1/4 | 1/5 | 2 | 1 | 1/2 | 1 |
| 5 | 1/2 | 1/4 | 5 | 4 | 1 | 1 |
| 6 | 1/2 | 1/3 | 2 | 2 | 1 | 1 |

В результаті мінімізації критерію R, розраховані значення $X_1=61,57, X_2=63,03, X_3=9,92, X_4=13,14, X_5=47,30, X_6=27,51$, де $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ - відносні значення параметра потоку відмов.

Таблиця 2

Результати чисельного розрахунку відносних значень параметра частоти відмов робото здатності /The results of numerical calculation of the failure rates efficiency

| | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Кількість ітерацій – 28 | Номер гілки еволюції | Чисельні значення параметрів | | | | | |
| | | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 | X_6 |
| Цільова функція $E=0,0388$ | 1 | 61,57 | 63,03 | 9,92 | 13,14 | 47,30 | 27,51 |

Для того, щоб перейти до розмірності параметра потоку відмов 1/рік, потрібно знати абсолютне значення будь-якого з цих параметрів потоку відмов. Це можна зробити, наприклад, для параметра потоку відмов газопроводу. Керуючись вже статистичними даними системи газопостачання [4,7,8], параметр потоку відмов газопроводу і засувки, віднесений до 1 км довжини, мають значення $\omega_r = 0,0011$ 1/(рік·км);

$\omega_{засувки} = 0,003 \text{ 1/(рік}\cdot\text{км)}$ при $\sum l = 0,313 \text{ км}$, де l – довжина газопроводу, км.

Можна розрахувати параметр потоку відмов підвідної системи газопостачання, який виражається формулою:

$$\omega = \omega_z \cdot l, \tag{11}$$

де ω_z - параметр потоку відмов, 1 / (рік · км).

Звідки значення параметру системи газопостачання та 10-ти засувки наступні:

$$\omega_6 = 0,0011 \cdot 0,313 + 0,003 \cdot 10 = 0,00034 + 0,03 = 0,03034 \text{ 1/рік.}$$

Остаточно отримуємо результати шуканих значень параметрів потоку відмов роботоздатності трубчастого газового нагрівача:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_6 \cdot (61,57/27,51) = 0,0679 \text{ 1/рік;} \\ \omega_2 &= \omega_6 \cdot (63,03/27,51) = 0,0695 \text{ 1/рік;} \\ \omega_3 &= \omega_6 \cdot (9,92/27,51) = 0,0109 \text{ 1/рік;} \\ \omega_4 &= \omega_6 \cdot (13,14/27,51) = 0,0145 \text{ 1/рік;} \\ \omega_5 &= \omega_6 \cdot (47,30/27,51) = 0,0521 \text{ 1/рік.} \end{aligned}$$

Еволюційний пошук можна використовувати і для більш складних процедур обробки експертних оцінок. Розглянемо наступну типову ситуацію. Для коефіцієнтів важливості, мається невизначена інформація, наприклад, у вигляді інтервалу можливих значень

$$\alpha_i \in [\alpha_{i \min}, \alpha_{i \max}]. \tag{12}$$

Для уточнення значень коефіцієнтів важливості використовується експертна оцінка. При експертному оцінюванню отримуємо матрицю як описувалося вище. Побудуємо допоміжну функцію F приналежності значень до інтервалів можливих значень наступним чином

$$F = \sum_{i=1}^n f_i, \tag{13}$$

де:

$$f_i = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ якщо } \alpha_i \in [\alpha_{i \min}, \alpha_{i \max}] \\ \rho = \min \left\{ \left| \alpha_i - \alpha_{i \min} \right|, \left| \alpha_i - \alpha_{i \max} \right| \right\} \\ \text{якщо } \alpha_i \notin [\alpha_{i \min}, \alpha_{i \max}] \end{array} \right\} \tag{14}$$

Визначимо відношення вибору найбільш привабливого рішення наступним чином. Для двох рішень, що зіставляються $x = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$ і $y = \{y^1, \dots, y^n\}$ рішення x привабливіше y , якщо:

1) Для рішення x та для рішення y коефіцієнти важливості належать усім своїм інтервалам можливих значень і, крім того, $R(x) \leq R(y)$;

2) Для рішення x та для рішення y коефіцієнти важливості не належать усім своїм інтервалам можливих значень, але $F(x) \leq F(y)$;

3) Для рішення x коефіцієнти важливості належать своїм інтервалам можливих значень, а для рішення y - не належать усім своїм інтервалам можливих значень. Ставлення вибору найбільш привабливого рішення строго можна записати:

$$\begin{aligned} xR_y &\Leftrightarrow [F(x) \leq 0 \wedge F(y) > 0] \vee \\ &\vee [F(x) > 0 \wedge F(y) > 0 \wedge F(x) \leq F(y)] \vee \tag{15} \\ &\vee [F(x) \leq 0 \wedge F(y) \leq 0 \wedge R(x) \leq R(y)]. \end{aligned}$$

В результаті обробки експертних оцінок з викладеним ставленням вибору, коефіцієнти важливості будуть визначатися на підставі експертних оцінок, але їх значення не будуть виходити за межі відомих інтервалів можливих значень.

Результати

Побудовано два відношення вибору для обробки експертних оцінок:

1. Ставлення вибору за критерієм неузгодженості між шуканої матрицею оброблених оцінок і матрицею T . Сааті експертних оцінок.

2. Ставлення вибору по тому самому критерію неузгодженості, але за умови входження коефіцієнта важливості своїм інтегральним оцінкам; виділено види можливих відмов роботоздатності трубчастого газового нагрівача, на основі яких побудована матриця експертного співставлення частоти відмов роботи здатності; отримано параметр частоти відмов роботоздатності ТГН.

Наукова новизна і практична значимість

Використання еволюційного пошуку для обробки експертних оцінок, ґрунтуючись на методі Т. Сааті, дає переваги, які полягають у можливостях гнучкого формулювання вимог, що пред'являються процедурі обробки експертних оцінок.

Висновки

Запропонований підхід до обробки результатів експертного оцінювання по матриці Т. Сааті за допомогою еволюційного пошуку найбільш привабливих рішень.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ /
REFERENCES**

1. Авакумов, В. Г. Алгоритм синтеза матрицы Т. Саати для сравнения факторов нечисловой природы / В. Г. Авакумов, М. В. Макурина // Сибирский торгово-экономический журнал. – Омск, 2010. – Вып. 11. – С. 11-16.
Avvakumov V.G., Makurina M.V. Algoritm sinteza matritsy T. Saati dlya sravneniya faktorov nechislovooy prirody [T. Saati matrix synthesis algorithm for comparing factors non-numerical nature]. *Sibirskiy torgovo-ekonomicheskij zhurnal* [Siberian trade and economic journal], 2010, issue 11, pp. 11-16.
2. Дудкин, К. В. Трубчатые газовые нагреватели для теплоснабжения в сельской местности / К. В. Дудкин, В. В. Ткачева, В. Ф. Иродов // ISBN : 978-3-659-52278-9. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. –156 с.
Dudkin K.V., Tkacheva V.V., Irodov V.F. *Trubchatye gazovye nagrevateli dlya teplosnabzheniya v selskoy mestnosti* [Tube gas heaters for heat supply in the countryside]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 156 p.
3. Ионин, А. А. Газоснабжение [учеб. для вузов] / А. А. Ионин. – Москва : Стройиздат, 1989. – 439 с.
Ionin A.A. *Gazosnabzhenie* [Gas supply]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1989. 439 p.
4. Кривошеев, В. М. Використання методів експертної оцінки в методі аналізу ієрархій при виборі раціональних варіантів складних технічних систем / В. М. Кривошеев // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ” Вип. 2 – 2010.- С.42-51.
Kryvosheiev V.M. Vykorystannia metodiv ekspertnoi otsinky v metodi analizu ierarkhii pry vybori ratsionalnykh variantiv skladnykh tekhnichnykh system [Use of expertise in the analytic hierarchy process in choosing rational options for complex technical systems]. *Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU „KPI”* [Bulletin of Military Institute of Telecommunications and Information State University of Telecommunications], 2010, issue 2, pp. 42-51.
5. Орлов, А. А. Теория принятия решений / А. А. Орлов. – Москва : Экзамен, 2006. – 573 с.
Orlov A.A. *Teoriya prinyatiya resheniy* [Adoption Theory of Solutions]. Moscow, Ekzamen Publ., 2006. 573 p.
6. Павлов, А. Н. Решение многокритериальных задач методом анализа иерархий: учебное пособие / А. Н. Павлов. – Москва : РАГС, 2010. –116 с.
Pavlov A.N. *Reshenie mnogokriterialnykh zadach metodom analiza ierarkhii: uchebnoe posobie* [Solution of multi-criteria problems by the Analytic Hierarchy Process]. Moscow, RAGS Publ., 2010. 116 p.
7. Плоткин, В. И. Методика согласования экспертных данных / В. И. Плоткин, Е. В. Огурцова, О. В. Вильхивская // Системи обробки інформації. –2012. –Вип. 8. –С.146–148.
Plotkin V.I., Ogurtsova E.V., Vilkhivskaja O.V. Metodika soglasovaniya ekspertnykh dannykh [Methods of harmonizing the expertise]. *Systemy obrobky informatsii* [Information processing systems], 2012, issue 8, pp. 146–148.
8. Ратушняк, Г. С. Оцінювання надійності функціонування вентиляційних систем за допомогою нейрочітких мереж / Г. С. Ратушняк, Р. В. Степанковський // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2013. –С.12-20.
Ratushniak G.S., Stepankovskiy R.V. Otsiniuvannia nadiinosti funktsionuvannia ventilyatsiinykh system za dopomohoiu neurochitkykh merezh [Evaluation of reliability of the ventilation system using Neural Networks]. *Suchasni tehnologii, materialy i konstruktii v budivnytstvi - Modern technologies, materials and constructions in building*, 2013, pp. 12-20.
9. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – Москва: Радио и связь. 1993. – 320 с.
Saati T. *Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhii* [Making decisions. Analytic hierarchy]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1993. 320 p.
10. Хорн, Р. Матричный анализ / Р. Хорн, Ч. Джонсон // Пер. с англ. – М. : Мир, 1989. – 655 с.
Horn R., Dzhonson Ch. *Matrichnyy analiz* [Matrix analysis]. Moscow, Mir Publ., 1989. 655 p.
11. Genest, C. Statistical look at Saaty’s method of estimating pairwise preferences expressed on a ratio scale / C. Genest, L. A. Rivest // J. M. Psychol. - 1994.- vol. 38. – pp. 477-496.
Genest C., Rivest L. A. Statistical look at Saaty’s method of estimating pairwise preferences expressed on a ratio scale. *J. M. Psychol*, 1994, vol. 38, pp. 477-496.
12. Pradeep, K. S. A critical analysis on software fault prediction techniques / K. S. Pradeep, K. P. Ranjan, P. S. Om // World Applied Sciences Journal, 2015. – vol. 33. – № 3. – pp. 371-379.
Pradeep K.S., Ranjan K.P., Om P.S. A critical analysis on software fault prediction techniques. *World applied sciences journal*, 2015, vol. 33, no. 3, pp. 371-379.
13. Saati, T. L. Decision making with dependence and feedback : the analitic network process / T. L. Saati. – Pittsburgh, RWS Publ., 2001. – 376 p.
Saati T. L. *Decision making with dependence and feedback : the analitic network process*. Pittsburgh, RWS Publ., 2001. 376 p.
14. Siperkovskis, V. Using T. Saaty method in transport systems planning / V. Siperkovskis // Transport and telecommunication institute, 2009. – vol. 10. – № 4. – pp. 18-27.
Siperkovskis V. Using T. Saaty method in transport systems planning. *Transport and telecommunication institute*, 2009, vol. 10, no. 4, pp. 18-27.
15. Tomaszewski, P. The accuracy of fault prediction in modified code –statistical model vs. expert estimation / P. Tomaszewski, J. Håkansson, L. Lundberg, H. Grahn // Proceedings of the 13th Annual IEEE International Conference on the Engineering of Computer Based Systems (ECBS 2006), Potsdam, 2006. – pp. 4-14.
Tomaszewski P, Håkansson J., Lundberg L., Grahn H. The accuracy of fault prediction in modified code –statistical model vs. expert estimation. *Proceedings of the 13th Annual IEEE International Conference on the Engineering of Computer Based Systems (ECBS 2006)*, Potsdam, 2006. pp. 4-14.
16. Totsenko, V. G. Methods and decision support systems / V. G. Totsenko. – Kiev : Naukova Dumka, 2002. –381 p.
Totsenko V.G. *Methods and decision support systems*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 2002. 381 p.