

О.О. Шаповалова, Р.В. Бурменський

*Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків*

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ АНАЛІЗА ІЄРАРХІЙ

*В статті надано опис програми, що призначена для надання допомоги особі, що приймає рішення (ОПР) у визначенні найкращого варіанту з множини наявних альтернатив за певним критерієм з застосуванням метода аналізу ієрархій. Розроблений додаток дозволяє виконувати агрегування критеріїв оцінювання у показники вищого рівня ієрархії та створений на мові програмування Delphi.*

*Розроблена програма може бути застосована для вирішення низки багатокритеріальних задач прийняття рішень, зокрема, задач пошуку кращого варіанту місця роботи за критеріями корисності при наявності в ОПР множини припустимих альтернатив робочих вакансій, а також вибору керівника, раціонального варіанту організації технологічного процесу тощо.*

**Ключові слова:** метод аналізу ієрархій, альтернатива, критерій, оцінка, шкала Саати, пріоритет, узгодженість.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Вибір найкращого варіанту серед множини припустимих варіантів є задачею, з якою зіштовхується кожна людина у повсякденному житті. У разі, якщо множини альтернатив та критеріїв, за якими виконується вибір, невеликі, вибір можна виконати інтуїтивно. Зі збільшенням потужностей множин альтернатив та критеріїв вибору зростає складність системи, за якою виконується вибір, а це, в свою чергу, призводить до збільшення ймовірності помилки у прийнятті рішення ОПР.

Ризики, що пов'язані з прийняттям невірної рішення, залежать від значущості вибору альтернативи та можуть призвести до негативних наслідків для всієї системи, відносно якої було прийнято рішення. До таких ризиків можна віднести, наприклад, вибір місця роботи, що не задовольняє потребам особи; вибір керівника, що не здатен контролювати колектив; вибір технологічного процесу, що потребує багато витрат та не є ефективним.

Для зниження ризиків та уникнення помилок при визначенні прийнятної альтернативи під час розв'язання багатокритеріальних задач використовуються методи теорії прийняття рішень, одним з яких є метод аналізу ієрархій (МАІ).

МАІ дозволяє структурувати задачу та формалізувати зв'язки між її елементами, моделювати процедури критеріального оцінювання і вподобань ОПР, виконувати синтез правила, що є розв'язуючим для певного типу задач, та встановлювати вподобання на множині альтернатив з урахуванням цього правила. Отже, обрана тема дослідження є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням можливості застосування МАІ для розробки раціонального варіанту організаційно-технічного процесу монтажу комплексу металічних решітчастих вежевих опір ЛЕП займалися такі вітчизняні автори як Є.В. Горохов, А.М. Югов, Р.І. Ігнатенко та Г.В. Крупченко [1]. Д.І. Євстрат та Ю.І. Кушнерук у своїй статті застосували МАІ для оцінки маркетингової активності торговельних підприємств [2].

В дослідженні [3] розглянуто застосування методу аналізу ієрархій до задач прийняття економічних рішень в умовах невизначеності цілей, робота [4] присвячена дослідженням підвищення ефективності діяльності малого підприємства за допомогою МАІ, а робота У.С. Савківа – створенню стратегій сталого розвитку регіону за допомогою МАІ [5].

Р.С. Рязанов у своїй праці розглянув відбір кредитних проектів на основі використання методу аналізу ієрархій [6]. С.М. Миронець описує використання МАІ в системі заходів психологічного забезпечення фахівців ризиконебезпечних професій [7]. В роботі [8] розглядаються питання застосування методу аналізу ієрархій до розв'язання задачі оцінювання ранжування кадрового потенціалу підприємства.

Таким чином, можна дійти висновку про можливість застосування МАІ для вирішення різних задач з прийняття рішень у широкому спектрі галузей.

**Постановка завдання.** У даній роботі надається опис програми для вирішення задач багатокритеріального вибору за допомогою методу аналізу ієрархій та алгоритм, що його реалізує.

**Метою статті** є викладення результатів роботи зі створення програмного додатку, що дозволяє вирішувати задачі багатокритеріального вибору з за-

стосуванням методу аналізу ієрархій та здійснювати вибір альтернатив за умови оптимізації низки критеріїв.

### Виклад основного матеріалу

Побудова моделі вибору альтернатив на основі МАІ включає наступні кроки:

- аналіз задачі і побудова ієрархії;
- обчислення локальних пріоритетів і перевірка узгодженості суджень;
- синтез пріоритетів альтернатив відносно головної цілі та загальне оцінювання узгодженості ієрархії.

Метод парних порівнянь – це метод відносних вимірювань, де елементи  $x_i$  порівнюються попарно відносно поняття або властивості, що виражається елементом  $h$ .

В результаті порівнянь формується матриця парних порівнянь порядку  $n$ , елементи якої є оцінками ступеня переваги елемента  $x_i$  над елементом  $x_j$  відносно  $h$ .

Для формування матриць парних порівнянь у даній роботі застосована шкала Сааті [8]. Матриця парних порівнянь формується на основі порівняння елементів в таблиці один з одним з точки зору ОПР і є обернено симетричною.

Значення пріоритетів  $\omega_i$  обчислюється за допомогою спеціальної процедури. В МАІ рекомендовані наступні 4 способи обробки даних для виконання обчислення пріоритетів:

- обчислити суму елементів у кожному рядку і нормалізувати діленням кожної суми на суму всіх елементів;
- обчислити суму елементів кожного стовпчика і отримати обернені елементи цих сум, нормалізувати їх діленням кожної оберненої величини на суму всіх обернених величин;
- розділити елементи кожного стовпця на суму елементів цього стовпця, після цього обчислити суму елементів кожного отриманого рядку і розділити суму на число елементів у рядку;
- помножити  $n$  елементів кожного рядку і обчислити з добутку корінь  $n$ -го степеню, нормалізувати отримані числа.

Матрицю порівнянь називають надтранзитивною, якщо  $\forall i, j, k d_{ij} = d_{ik} \cdot d_{ki}$ .

$$D = \begin{pmatrix} \omega_1 / \omega_1 & \omega_1 / \omega_2 & \dots & \omega_1 / \omega_m \\ \omega_2 / \omega_1 & \omega_2 / \omega_2 & \dots & \omega_2 / \omega_m \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_m / \omega_1 & \omega_m / \omega_2 & \dots & \omega_m / \omega_m \end{pmatrix}.$$

Значення пріоритетів обчислюються за формулою:

$$\omega_j = \frac{1}{\sum_{j=1}^m d_{kj}}.$$

Надтранзитивна матриця має власне значення, що дорівнює  $m$ :

$$DW = mW,$$

де  $D$  – вихідна матриця пріоритетів;

$W$  – вектор пріоритетів;

$m$  – максимальне власне значення матриці.

При проведенні парних порівнянь матриця  $D$ , як правило, не є надтранзитивною і має декілька власних чисел. При цьому справедлива нерівність:

$$\lambda_{\max} \geq m$$

де  $\lambda_{\max}$  – максимальне власне число матриці.

Вектор пріоритетів визначається як власний вектор матриці  $D$ , що відповідає максимальному власному числу.

$$DW = \lambda_{\max} \cdot W.$$

Для обчислення максимального власного числа матриці можна скористатися наступними формулами:

$$C = DW; C_i = \frac{c_i}{\omega_i}; \lambda_{\max} = \frac{\sum c_i}{n}.$$

Після побудови і обробки матриці парних порівнянь виконується перевірка узгодженості суджень. В МАІ для оцінювання міри узгодженості використовується відповідний індекс CI:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}.$$

Для оцінювання прийнятності степені узгодженості використовується відповідне співвідношення CR.

$$CR = \frac{CI}{CIS},$$

де  $CIS$  – середнє значення індексу узгодженості (CI), отриманий експериментально для різних значень різних матриць.

Якщо умови узгодженості не виконуються, необхідно скорегувати пріоритети матриці парних порівнянь.

Створена програма реалізує описаний вище алгоритм вирішення задач багатокритеріального вибору.

Перш ніж перейти до вирішення задачі, за допомогою пункту меню «Налаштування» можна налаштувати метод обробки матриць для обчислення векторів пріоритетів для матриць парних порівнянь. На рис. 1 зображено вікно вибору методу обробки даних, доступно 4 методи обробки матриць.

Для задання умов задачі та її подальшого вирішення, слід перейти до пункту «Меню» у головному меню програми та обрати «Аналіз ієрархії».

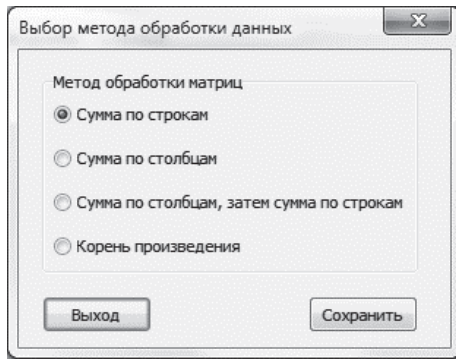


Рис. 1. Вікно вибору методу обробки даних

У вікні «Ввод критериев выбора» (рис. 2) слід обрати кількість критеріїв (від 3 до 20) та ввести їх скорочені назви (максимальна довжина складає 6 символів).

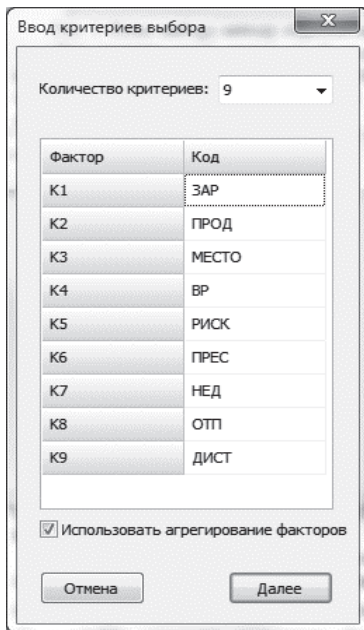


Рис. 2. Введення критеріїв оцінювання

Увімкнення перемикача «Использовать агрегирование факторов» (недоступний при кількості критеріїв, що дорівнює 3) передбачає групування критеріїв вибору у елементи вищого ступеня ієрархії за деякою ознакою. У разі виключення цієї опції, після натискання кнопки «Далее» відбувається перехід до заповнення матриць парних порівнянь критеріїв.

У вікні «Агрегирование факторов» (буде відображено тільки у разі включення опції агрегування факторів) необхідно обрати кількість груп критеріїв та задати їх скорочені назви (максимальна довжина становить 10 символів).

Далі у вікні «Группировка факторов» слід заповнити групи критеріїв відповідними критеріями, в одній групі повинно знаходитися щонайменше 2 критерії.

Після цього у вікні «Определение приоритетов групп критериев» слід заповнити матрицю парних порівнянь для груп критеріїв (рис. 3).

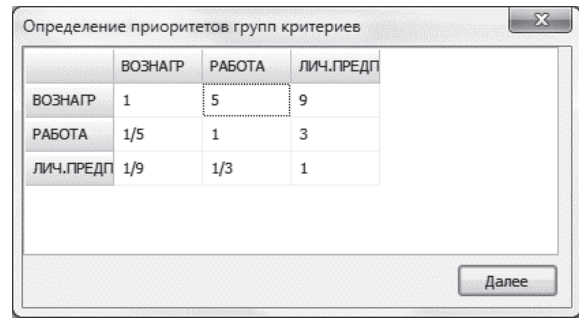


Рис. 3. Заповнена матриця парних порівнянь для груп критеріїв

Далі користувачу необхідно заповнити матриці парних порівнянь для критеріїв у кожній групі.

Після заповнення необхідних матриць, у вікні «Альтернативы для выбора по критериям» (рис. 4) користувач повинен обрати кількість альтернатив (від 3 до 12) та ввести їх назви (максимальна довжина складає 10 символів).

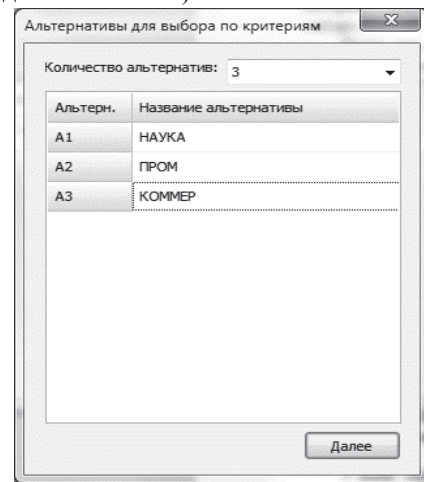


Рис. 4. Вікно введення альтернатив

У вікні «Определение приоритетов альтернатив выбора» (рис. 5) необхідно заповнити матрицю парних порівнянь альтернатив для кожного критерію. В нижньому правому кутку буде висвітлено припустиме граничне значення співвідношення узгодженості CR та його розрахункове значення за матрицею. У разі виходу за допустиму межу значення CR, воно буде підсвічено червоним кольором.

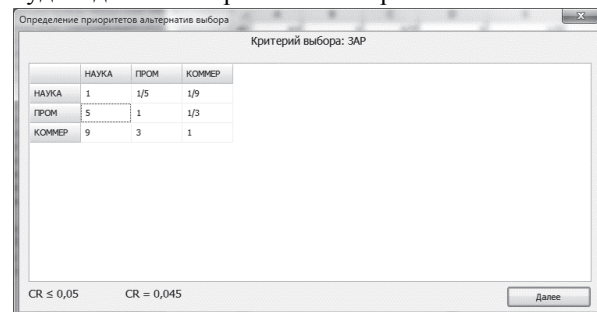


Рис. 5. Заповнення матриць парних порівнянь для альтернатив

Після заповнення усіх матриць парних порівнянь буде виведене вікно «Выбор альтернативы»

(рис. 6) з результатом вирішення задачі. Для формування звіту слід натиснути кнопку «Сформировать отчет», а для його збереження у текстовий файл – «Сохранить отчет».

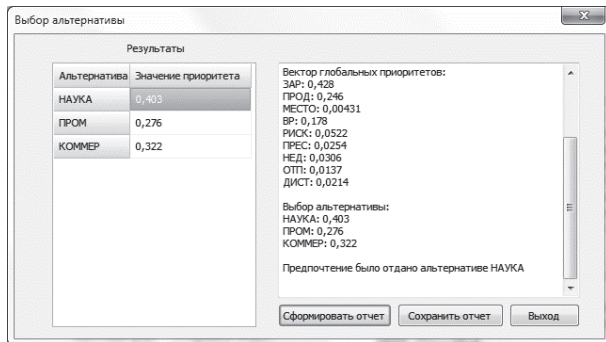


Рис. 6. Результат вирішення задачі

## ВИСНОВКИ

Створена програма дозволяє вирішувати різноманітні задачі багатокритеріального вибору за допомогою методу аналізу ієрархій та надає ОПР можливість отримати кількісну оцінку своїх уподобань для аргументованого прийняття рішення.

Додаток створений на мові програмування Delphi та реалізує чотири методи обробки матриць для обчислення локальних векторів пріоритетів матриць парних порівнянь. Існує можливість визначати кращу альтернативу з поміж 3–12 альтернатив за 3–20 критеріями, які можна згрупувати, якщо кількість критеріїв перебільшує 3.

За результатом аналізу ієрархії можна сформулювати звіт, що містить вектор локальних пріоритетів груп критеріїв (якщо використовується агрегування критеріїв), вектор глобальних пріоритетів критеріїв та вектор пріоритетів альтернатив. Звіт можна зберегти у текстовому файлі в форматі txt або doc.

## РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Е.А. Шаповалова, Р.В. Бурменский

В статье дано описание программы, предназначенной для помощи лицу, принимающему решение (ЛПР) в определении лучшего варианта из множества имеющихся альтернатив по определенному критерию с использованием метода анализа иерархий. Разработанное приложение позволяет выполнять агрегирование критериев оценивания в показатели высшего уровня иерархии и создано на языке программирования Delphi.

Разработанная программа может быть применена для решения ряда многокритериальных задач принятия решений, в частности, задач нахождения лучшего варианта места работы по критериям полезности при наличии у ЛПР множества допустимых альтернатив рабочих вакансий, а также выбора руководителя, рационального варианта организации технологического процесса и др.

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, альтернатива, критерий, оценка, шкала Саати, приоритет, согласованность.

## DEVELOPMENT OF APPLICATION FOR IMPLEMENTING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

O. Shapovalova, R. Burmensky

The article gives a description of the program that is designed to help the decision maker (DM) in determining the best option from the set of available alternatives by certain criteria using analytic hierarchy process. Designed application allows to perform aggregation of criteria in the indicators of the higher hierarchy level and is written in the Delphi programming language.

The program can be used to solve variety of multi-criteria decision making problems, such as the problems of finding a better vacancy option by the criteria of usefulness if the DM has the set of acceptable alternatives to job vacancies, the problems of choosing a leader, and the problems of choosing a rational variant of the technological process etc.

**Keywords:** Analytic hierarchy process, alternative, criterion, evaluation, Saaty scale, priority, consistency.

## Список літератури

1. Горохов Е.В. Применение МАИ (метод анализа иерархий) при разработке рационального варианта организационно-технологического процесса монтажа комплекса металлических решетчатых башенных опор ЛЭП / Е.В. Горохов, А.М. Югов, Р.И. Игнатенко, А.В. Крупченко // *Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури*. – 2015. – Вип. 6. – С. 43-52.

2. Євстрат Д.І. Застосування методу аналізу ієрархій для оцінки маркетингової активності торговельних підприємств / Д.І. Євстрат, Ю.І. Кушнерук // *Проблеми економіки*. – 2012. – №2. – С. 66-71.

3. Манталоук О.В. Застосування методу аналізу ієрархій до задач прийняття економічних рішень в умовах невизначеності цілей / О.В. Манталоук // *Вісник Хмельницького національного університету*. – 2014. – №4, т. 2. – С. 276-279.

4. Роменська К.М. Підвищення ефективності діяльності малого підприємства на основі методу аналізу ієрархій / К.М. Роменська // *Економіка та держава*. – 2015. – №2. – С. 39-42.

5. Савків У.С. Застосування методу аналізу ієрархій для формування стратегій сталого розвитку регіону // *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Економічні науки*. – 2012. – №4. – С. 85-89.

6. Рязанов Р.С. Відбір кредитних проектів на основі використання методу аналізу ієрархії / Р.С. Рязанов // *Управління розвитком*. – 2013. – №20. – С. 67-69.

7. Миронець С.М. Застосування методу аналізу ієрархій в системі заходів психологічного забезпечення фахівців ризиконебезпечних професій / С.М. Миронець // *Вісник Чернівецького національного педагогічного університету*. – 2012. – Вип. 105, т. 2. – С. 3-9.

8. Шаповалова Е.А. Использование метода анализа иерархий для оценки трудового потенциала отдела (фирмы) / Е.А. Шаповалова, Е.А. Кузьменко // *Найновітні наукові постиження*. – Софія. «Бял ГРАД-БГ»ООД. – 2012. – Том 3. – С.18-21.

Надійшла до редколегії 26.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. І.А. Чуб, Національний університет цивільного захисту України, Харків.