

## ЗМІСТ

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Скорочення та умовні позначки .....                                            | 5  |
| Вступ.....                                                                     | 6  |
| 1 Постановка задачі прийняття рішень.....                                      | 8  |
| 1.1 Альтернативи .....                                                         | 8  |
| 1.2 Критерії вибору рішення .....                                              | 9  |
| 1.3 Процес прийняття рішень.....                                               | 11 |
| 1.4 Типові завдання прийняття рішень .....                                     | 11 |
| 2 Дослідження методу аналізу ієрархій.....                                     | 12 |
| 2.1 Класифікація методів підтримки прийняття рішень .....                      | 12 |
| 2.2 Метод аналізу ієрархій Т. Сааті .....                                      | 13 |
| 2.2.1 Визначення та виявлення проблеми .....                                   | 15 |
| 2.2.2 Декомпозиція проблеми в ієрархію завдань .....                           | 15 |
| 2.2.3 Побудова матриці парних порівнянь .....                                  | 17 |
| 2.2.4 Розрахунок вектору пріоритетів.....                                      | 20 |
| 2.2.5 Переваги та недоліки методу аналізу ієрархій .....                       | 22 |
| 3 Порівняльний аналіз сучасних систем підтримки прийняття рішень.....          | 25 |
| 3.1 Класифікація систем підтримки прийняття рішень.....                        | 25 |
| 3.2 Огляд систем підтримки прийняття рішень .....                              | 28 |
| 4 Розробка програмного застосунка для реалізації методу аналізу ієрархій ..... | 34 |
| 4.1 Обґрунтування вибору програмних засобів розробки .....                     | 34 |
| 4.2 Реалізація інтерфейсу програми .....                                       | 36 |
| 4.3 Тестування системи на конкретному прикладі .....                           | 41 |
| Висновки .....                                                                 | 42 |
| Перелік джерел посилання .....                                                 | 49 |
| Додаток А Програмний код системи .....                                         | 51 |

## **СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ**

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| БД   | – база даних                      |
| ЕОМ  | – електронна обчислювальна машина |
| МАІ  | – метод аналізу ієрархій          |
| ОП   | – оперативна пам'ять              |
| ОПР  | – особа, що приймає рішення       |
| ОС   | – операційна система              |
| ПЗ   | – програмне забезпечення          |
| ПК   | – персональний комп'ютер          |
| ПП   | – програмний продукт              |
| СППР | – підтримка прийняття рішень      |

## ВСТУП

З проблемою вибору з кількох можливих варіантів в повсякденному житті стикається кожна людина. Найчастіше ця проблема носить багатокри-теріальний характер. Тобто треба врахувати багато різних факторів, щоб здійснити вибір кращого рішення, тим більше що наслідки прийняття помил-кових рішень, в деяких випадках можуть носити катастрофічний характер.

В даний час в задачах прийняття рішень широко використовуються ек-спертні оцінки. Однак при наявності великої кількості факторів, здатних вплинути на рішення експерта, якість прийнятого ним рішення часто може носити суб'єктивний характер, та залежити від досвіду, знань, вмінь, інтуїції і розумових здібностей конкретної людини, можливостей врахувати весь ряд обставин, а також оцінити ступінь їх впливу на досліджувану проблему. В цьому випадку особливо актуальним виглядає застосування програмних за-собів, які можуть автоматизувати проце вибору, тобто зробити прийняття рі-шення комфортним, технологічним, а найголовніше, ефективним та операти-вним. У зв'язку з цим виникає завдання розробки подібних програмних сис-тем, які можуть допомогти людині в прийнятті рішень, мають універсальний характер, тобто можуть бути використані в будь-якій сфері людської діяль-ності для вирішення проблем, пов'язаних із здійсненням вибору.

Важливо, щоб в основі програмної системи була закладена реалістична модель, що включає в себе і дозволяє вимірювати всі важливі кількісні і якіс-ні фактори проблеми. На наш погляд, подібна модель може бути побудована на основі методу аналізу ієрархій (MAI), який допускає розходження в дум-ках і конфлікти, як це буває в реальному світі.

Відмінною особливістю методу є можливість ретельно проаналізувати проблему, так як на початковому етапі вона піддається декомпозиції і вибу-довується у вигляді ієрархії. Метод полягає в декомпозиції проблеми на більш прості складові частини та поетапне встановлення пріоритетів оціню-ваних компонент з використанням методу парних порівнянь Сааті, який за-

снований на оцінці кожної альтернативи, її важливості для вирішення завдань вищого рівня.

Процес прийняття рішення включає наступні основні етапи:

- визначення та виявлення проблеми;
- декомпозицію проблеми в ієрархію завдань;
- виділення критеріїв оцінки рішення задач;
- побудова матриць парних порівнянь критеріїв;
- обчислення пріоритетів;
- синтез пріоритетів.

Реалізація цих етапів в рамках методу аналізу ієрархій дозволяє отримати об'єктивні кількісні оцінки важливості всіх елементів в структурі ієрархії, пов'язаної з поставленою проблемою.

Таким чином, метою даної дипломної роботи є дослідження методу аналізу ієрархій та розробка на його основі програмної системи підтримки прийняття рішень для надання допомоги особі, що приймає рішення (ОПР) у визначенні найкращого варіанту з множини наявних альтернатив.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- виконати дослідження методів багатокритеріального прийняття рішень, визначити їх переваги і недоліки;
- навести порівняльний аналіз сучасних систем підтримки прийняття рішень (СППР);
- дослідити метод аналізу ієрархій, а саме: створити докладний алгоритм методу аналізу ієрархій з метою подальшої програмної реалізації;
- обґрунтувати вибір інструментальних засобів розробки програмної системи;
- виконати етапи проектування та реалізації програмної системи;
- виконати тестування системи на конкретних задачах багатокритеріального прийняття рішень.

## 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Теорія і методи прийняття рішень використовуються, як правило, коли є невизначеність – відсутня повна інформація про ситуацію, явище, моделі об'єкта, а прийняття рішення пов'язане з ризиком прийняття помилкового рішення [1]<sup>1)</sup>.

Під прийняттям рішень розуміють особливий процес людської діяльності, спрямований на вибір найкращого варіанту з можливих дій [2]<sup>2)</sup>.

При виборі рішень головну роль грає аналіз їх наслідків. Для переважної більшості рішень, прийнятих людиною, наслідки не можна точно розрахувати і оцінити. Людина може лише припустити, що певний варіант рішення призведе до певного результату. Таке припущення, звичайно, може виявитися помилковим, тому що далеко не завжди вдається врахувати всі фактори, що впливають на результат прийнятого рішення. Однак поступаючись комп'ютеру в швидкості і точності обчислень, людина має унікальні уміння швидко оцінювати обстановку, виділяти головне й відкидати другорядне, порівнювати суперечливі оцінки, заповнювати невизначеності своїми здогадками. У зв'язку з цим виникає питання про засоби, які можуть допомогти людині в прийнятті рішень.

### 1.1 Альтернативи

У процесі прийняття рішення особа, яка приймає рішення (ОПР), робить усвідомлений вибір серед ряду запропонованих йому альтернатив (в залежності від змісту: планами, варіантами, методами тощо). Своїм вибором ОПР прагне до досягнення визначених цілей, при цьому несучи відповідаль-

---

<sup>1)</sup> [1] Козлов, В. Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений. М.: Проспект, 2012. 176 с.

<sup>2)</sup> [2] Волкова В. Н. Системный анализ и принятие решений. М.: Высш.шк., 2004 616 с.

ність за наслідки свого рішення. В якості ОПР можуть виступати як окремі індивіди, так і групи людей.

Використання методів прийняття рішень являє собою побудову відповідної моделі, яка може формалізовано представити проблемну ситуацію, тобто ситуацію вибору рішення. Елементами такої моделі є множина всіх альтернативних рішень, з яких ОПР робить вибір на користь найкращого. Для надання свободи вибору множина альтернативних рішень має містити не менше двох елементів [3]<sup>1)</sup>.

## 1.2 Критерії вибору рішення

У задачах прийняття рішення порівняння альтернативних рішень за перевагу здійснюється, не безпосередньо, а за допомогою заданих на множині альтернатив числових функцій  $F_1, F_2, \dots, F_m$ , які називаються критеріями (а також показниками якості або ефективності, критеріальними функціями, цільовими функціями і т.п.).

Для кожного критерію  $F_i$  на числовій прямій можна вказати підмножина  $Y_i$ , з якого він приймає свої значення. Практично множина  $Y_i$  (яку часто називають шкалою критерію  $F_i$ ) визначається відповідно до змістовного сенсу цього критерію.

Критерії  $F_i$ , які часто називають приватними (а також локальними), утворюють векторний критерій  $F = (F_1, F_2, \dots, F_m)$ . Вважається, що кожне рішення  $x$  характеризується відповідною (векторною) оцінкою, тобто вектором  $F(x)$ . Тому вибір оптимального рішення з множини всіх рішень  $X$  зводиться до вибору оптимальної оцінки з множини досяжних оцінок  $Y = F(X) = \{y \in E^m \mid y = F(x), x \in X\}$ , де  $E^m$  –  $m$ -мірний числовий простір, який називається критеріальним.

---

<sup>1)</sup> [3] Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М., "Наука", 1981. 487 с.

На складність завдачі прийняття рішень впливає також число критеріїв. Використання критеріїв вибору рішення для оцінки альтернатив вимагає визначення градацій величин критеріїв: кращих, гірших і проміжних оцінок. Іншими словами, існують шкали оцінок за критеріями. У прийнятті рішень розрізняють шкали безперервних і дискретних оцінок, шкали кількісних і якісних оцінок [4]<sup>1)</sup>. Критерій є якісним, коли його значення має сенс порівнювати, вказуючи, на скільки або у скільки разів одне значення більше іншого, і якісним, коли такі порівняння безглузді. Прикладом кількісного критерію  $F_i$  є маса. Якщо фіксована одиниця виміру маси, то можна говорити про те, у скільки разів (або ж на скільки) один виріб важче іншого: відношення ваг виробів не змінюється після переходу до іншої одиниці виміру, тобто після перетворення  $F_i$  в  $kF_i$ , де  $k > 0$ . Зрозуміло, що будь-яке інше перетворення (яке не є множенням на позитивне число) може привести до зміни вихідного співвідношення значень  $F_i$ .

У розібраному прикладі допустимими перетвореннями критерію  $F_i$  є всі додатні лінійні перетворення. У загальному випадку функцію  $\varphi$  називають допустимим перетворенням критерію  $F_i$ , якщо функція  $\varphi(F_i)$  знову виявляється критерієм, що вимірює (задає) ту ж властивість. При заміні  $F_i$  на  $F_i' = \varphi(F_i)$  множина  $Y_i$  змінюється на  $Y_i' = \varphi(Y_i)$ .

Таким чином, з кожним критерієм пов'язують множину допустимих перетворень  $\Phi$  і кажуть, що цей критерій має шкалу типу  $\Phi$  або що вимірювання проводиться в шкалі типу  $\Phi$ . Зазвичай множина  $\Phi$  природно вводиться разом із завданням критерію, але іноді визначення типу шкали виявляється самостійним, досить складним завданням.

У вище наведеному прикладі  $\Phi = \Phi_0 = \{\varphi \mid \varphi(z) = kz, k > 0\}$ . Шкала такого типу називається шкалою відносин, так як зберігаються відносини величин:  $kz^1 / kz^2 = z^1 / z^2 = C$  ( $C - \text{const}$ ).

---

<sup>1)</sup> [4] Лотов А. В. Многокритериальные задачи принятия решений. М.: МАКС Пресс, 2008. 197 с.

### 1.3 Процес прийняття рішень

Як правило процес прийняття рішення відбувається в три етапи:

- відбір даних;
- відбір і визначення альтернатив;
- вибір найкращої альтернативи.

На етапі відбору даних проводиться пошук доступної інформації: фактичних даних, залежностей між ними. На етапі відбору альтернатив визначається, які варіанти результатів є в даній задачі. На останньому, третьому етапі відбувається процес порівняння альтернатив і вибір серед них найкращого.

### 1.4 Типові завдання прийняття рішень

З трьох наведених вище етапів процесів прийняття рішень найбільшу увагу традиційно приділяється третього етапу. За визнанням важливості пошуку інформації та виділення альтернатив слід розуміння того, що ці етапи погано формалізовані. Способи виконання етапів залежать не тільки від змісту завдання прийняття рішень, але і від досвіду, звичок, особистого стилю ОПР. Хоча ці ж чинники присутні при порівнянні альтернатив, тут їх роль помітно менше. Науковий аналіз проблем прийняття рішень починається з моменту, коли хоча б частина альтернатив і / або критеріїв відома [5]<sup>1)</sup>.

Традиційно прийнято розрізняти наступні основні завдання прийняття рішень.

- відбір альтернатив (screening) – процес відсіювання (відбракування) альтернатив з множини можливих / заданих, тобто формування звуженої / меншої множини альтернатив, яка містить допустимі або кращі альтернативи;

---

<sup>1)</sup> [5] Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. М., "Наука", ФМ, 1974. 312 с.



- пошук найкращою альтернативи з множини розглянутих (choice problem);
- ранжування (ranking) альтернатив (від кращої до найменш кращою з урахуванням всіх оцінок і переваг);
- класифікація/сортування альтернатив по класах/категоріях (sorting methods) наприклад, неприйнятні, можливо прийнятні, безумовно прийнятні альтернативи і т.п.).

## **2 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ**

### **2.1 Класифікація методів підтримки прийняття рішень**

В даний час існує безліч класифікацій методів прийняття рішень, заснованих на застосуванні різних ознак.

Часто методи прийняття рішень класифікують на дві групи: методи прийняття рішень в умовах визначеності та методи прийняття рішень в умовах невизначеності.

З безлічі відомих методів і підходів до прийняття рішень найбільший інтерес представляють ті, які дають можливість враховувати багатокритеріальність і невизначеність, а також дозволяють здійснювати вибір рішень з множин альтернатив різного типу при наявності критеріїв, що мають різні типи шкал вимірювання.

Серед методів прийняття рішень в умовах невизначеності, найбільш перспективними є декомпозиційні методи теорії очікуваної корисності, методи аналізу ієрархій і теорії нечітких множин. Даний вибір визначений тим, що ці методи у найбільшій мірі задовольняють вимогам універсальності, врахування багатокритеріальності вибору в умовах невизначеності з дискретної або безперервної множини альтернатив, простоти підготовки і переробки експертної інформації.

Методи підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності при декількох критеріях також можна класифікувати за роллю ОНР [6]<sup>1)</sup>:

- методи пошуку рішення без участі ОНР;
- методи, що використовують переваги ОНР для побудови правила вибору єдиного або невеликого числа ефективних рішень;
- інтерактивні процедури вирішення завдання за участю ОНР;
- методи, засновані на апроксимації паретового кордону та інформування ОНР про нього в тому чи іншому вигляді.

Методи перших двох груп ґрунтуються на побудові вирішального правила, тобто правила перебування одного або декількох рішень з допустимої множини. Відмінність першої групи методів від інших полягає в тому, що в першій групі вирішальне правило будується без участі ОНР, а в методах інших груп використовується інформація про переваги ОНР.

Далі в роботі будемо розглядати тільки підход до прийняття рішень в умовах невизначеності, а саме: підход, заснований на методі парних порівнянь Т. Сааті (метод аналізу ієрархій). Цей метод входять в сукупність методів організації складних експертиз, які розробляють для підвищення об'єктивності отримання оцінок шляхом використання основної ідеї системного аналізу – розчленування великої початкової невизначеності проблеми на більш доступні для огляду складові частини, які краще піддаються осмисленню [7]<sup>2)</sup>. Саме метод МАІ з одного боку, має визнану теоретичну обґрунтованість, а з іншого боку, задовольняє вимоги універсальності.

## 2.2 Метод аналізу ієрархій Т. Сааті

Метод аналізу ієрархій був запропонований в кінці 1970-х рр. американським математиком Т. Сааті. Метод полягає в декомпозиції проблеми на

---

<sup>1)</sup> [6] Трухаев, Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука, 1981. 258 с.

<sup>2)</sup> [7] Панкова Л. А., Петровский А. М., Шнейдерман М. В. Организация экспертиз и анализ экспертной информации. М.: Наука, 1984. 120 с.

більш прості складові частини і поетапне встановлення пріоритетів оцінюваних компонент з використанням парних порівнянь. МАІ включає в себе процедури синтезу множинних суджень, отримання пріоритетності критеріїв і знаходження альтернативних рішень. Істотною перевагою МАІ є чіткий опис суджень експертів та ОПР, а також чітке уявлення структури проблеми: складних елементів проблеми і взаємозалежностей між ними. Складність характеризується великою кількістю взаємодій між суб'єктивними і об'єктивними факторами різного типу і ступеня важливості, а також між групами людей з різними цілями і суперечливими інтересами. Ці обставини визначають ймовірність вибору однієї з альтернатив, лише з певним ступенем компромісу.

В основі МАІ лежать наступні положення [8]<sup>1)</sup>:

- будь-яка складна проблема може бути піддана декомпозиції;
- результат декомпозиції можна представити у вигляді ієрархічної системи рівнів, кожен з яких складається з багатьох елементів;
- якісні порівняння експертами попарної значущості елементів на будь-якому рівні ієрархії можуть бути перетворені в кількісні співвідношення між ними, при цьому вони будуть відображати об'єктивну реальність.

Рішення проблеми за допомогою методу аналізу ієрархій – це процес поетапного встановлення пріоритетів. Він включає наступні компоненти:

- визначення та виявлення проблеми;
- декомпозицію проблеми в ієрархію завдань;
- виділення критеріїв оцінки рішення завдань;
- побудова матриць парних порівнянь критеріїв;
- обчислення пріоритетів;
- синтез пріоритетів;
- перевірка узгодженості.

---

<sup>1)</sup> [8] Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

Реалізація цих етапів в рамках методу аналізу ієрархій дозволяє отримати об'єктивні кількісні оцінки вагомості всіх елементів в структурі ієрархії, що зв'язана з поставленою проблемою. Далі розглянемо кожен етап алгоритму докладніше.

### **2.2.1 Визначення та виявлення проблеми**

Рішення будь-якої проблеми або завдання пов'язане з вирішенням протиріччя між станом досліджуваного об'єкта і зовнішніми вимогами до нього в змінювальному середовищі. Визначення мети рішення має базуватися на всебічному вивченні всіх властивостей об'єкта (проблеми), тобто визначенні причини і наслідків. Виділити проблеми з навколишнього середовища – це встановити внутрішні і зовнішні чинники, які впливають на рішення проблеми [9]<sup>1)</sup>. Мета вирішення проблеми формується виходячи з усунення причини. Визначення основної причини є складним і системним завданням аналізу. При формулюванні мети вирішення проблеми необхідно розглянути існуючі пропозиції інших людей і знайти індивідуальний підхід до постановки мети [10]<sup>2)</sup>. Метод аналізу ієрархій вимагає структурування проблеми учасниками рішення завдання прийняття рішень, тобто необхідно розглянути завдання відповідно до мети завдання, розуміння критеріїв і існуючих варіантів вибору.

### **2.2.2 Декомпозиція проблеми в ієрархію завдань**

Згідно Т.Сааті, ієрархія є певний тип системи, заснований на припущенні про те, що елементи системи можуть групуватися в незв'язані множини. Елементи кожної групи перебувають під впливом елементів деякої

---

<sup>1)</sup> [9] Андрейчиков А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2000. 368 с.

<sup>2)</sup> [10] Мухин В. И. Исследование систем управления. М.: Экзамен, 2006. 479 с.

цілком певної групи  $i$ , в свою чергу, впливають на елементи іншої групи. Іншими словами ієрархія виникає при визначенні підпорядкування одного рівня функціонування системи іншому, а, отже, проблема може розглядатися як сукупність багатофакторних рішень в залежності від різних аспектів дослідження.

Декомпозиція проблеми в загальному вигляді здійснюється на трьох рівнях (рис. 2.1).

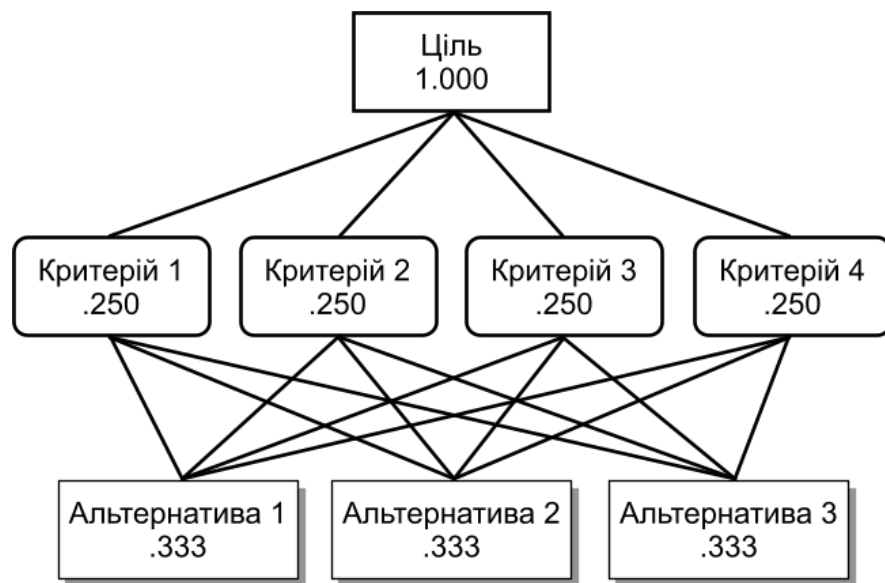


Рисунок 2.1 – Приклад структури ієрархії

Перший рівень – це мета, ті властивості досліджуваного явища, які необхідно отримати в результаті проведення експертизи. Другий рівень декомпозиції – це критерії, які дозволяють оцінити відповідність одержуваних приватних рішень заданої мети. Третій рівень – це альтернативні рішення, наявні у експертів, у виборі яких і полягає основне завдання експертів. На даному рівні ведеться рішення приватних завдань відповідно до обраних методів рішення. Отримані результати в подальшому порівнюються у вигляді суджень і ранжуються у відповідності з обраним пріоритетом критеріїв оцінки їх впливом на головну мету. Також

відбувається синтез суджень всіх експертів, які беруть участь в оцінці, і отримання найкращого рішення при заданих умовах.

Кожен елемент ієрархії функціонально може належати до кількох інших різних ієрархій. Елемент може бути керуючою компонентою на деякому рівні однієї ієрархії або може просто бути елементом, що розкриває функції нижнього або вищого порядку в іншій ієрархії.

Весь процес побудови ієрархії постійно піддається перевірці і переосмисленню на кожному з етапів проведення експертизи, що дозволяє проводити оцінку якості одержуваного рішення, до тих пір, поки не буде впевненості в тому, що процес охопив усі важливі характеристики, необхідні для подання і вирішення проблеми. Процес може бути проведений над послідовністю ієрархій. При цьому результати, отримані в одній з них, використовуються в якості вхідних даних при вивченні наступних. Результати рішення можуть бути представлені як графічно, так і в табличному вигляді. Після закінчення побудови ієрархії для кожної материнської вершини проводиться оцінка вагових коефіцієнтів, що визначають ступінь її залежності від вершин нижчого рівня, що впливають на неї. При цьому використовується метод парних порівнянь.

### 2.2.3 Побудова матриці парних порівнянь

Матриці пріоритетів визначаються через матриці порівнянь елементів кожного рівня між собою. У МАІ елементи порівнюються попарно по відношенню до їх впливу на загальну для них характеристику. Отримані матриці додатні, зворотньосиметричні, тобто

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ij} > 0. \quad (2.1)$$

Спочатку матриця  $A_2$  складається для порівняння відносної важливості критеріїв на другому рівні по відношенню до загальної мети на першому рівні. Далі подібні матриці  $A_{31}, A_{32}, \dots, A_{3N}$  повинні бути побудовані для парних порівнянь кожної альтернативи на третьому рівні по відношенню до критеріїв другого рівня. Матриці складаються, якщо записати порівнювану мету (або критерій) вгорі і перерахувати порівнювані елементи зліва і зверху (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Матриця попарних порівнянь елементів ієрархії

| Мета       | Критерій 1 | Критерій 2 | ... | Критерій N |
|------------|------------|------------|-----|------------|
| Критерій 1 | 1          |            |     |            |
| Критерій 2 |            | 1          |     |            |
| ...        |            |            | ... |            |
| Критерій N |            |            |     | 1          |

Алгоритм заповнення матриці порівнянь наведений нижче.

Якщо  $a_{ij} = \alpha$ , то  $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}, \alpha > 0$ .

Якщо судження такі, що  $F_i$  має однакову з  $F_j$  відносну важливість, то  $a_{ij} = a_{ji} = 1$ ; зокрема  $a_{ij} = 1$  для всіх  $i = j$ .

Всі комірки матриці заповнюються значеннями однієї і тієї ж шкали.

Якщо порівнюються явища, для яких передбачена певна система вимірювань (оцінка ваг, довжина, відстань і т.п.), то в якості відносин в елементи таблиці заносяться відносини дійсних мір. У випадку якісної оцінки (наприклад, при порівнянні критеріїв), парні порівняння можна проводити з використанням суджень про відносну важливість компонентів. Потім ці судження виражаються чисельно за спеціально розробленою шкалою відносної важливості.

В методі Т. Сааті рекомендується спеціальна шкала від 1 до 9, в якій компонентам рівної валивості ставиться у відповідність одиниця, при помірній перевазі – 3, при істотній перевазі – 5, значній перевазі – 7, і дуже сильній перевазі – 9. Значення 2, 4, 6, 8 використовуються як проміжні між двома сусідніми компонентами, які отримали оцінки 1, 3, 5, 7 відповідно.

Відносна важливість будь-якого елемента, що порівнюється з самим собою, дорівнює одиниці, тобто діагональ матриці складається з одиниць. При заповненні матриці використовується властивість зворотного симетрії: симетричні клітини заповнюються зворотними величинами [11]<sup>1)</sup>. Шкала відносин представлена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Шкала відношень

| Ступень важливості | Визначення                                              |
|--------------------|---------------------------------------------------------|
| 1                  | однакова важливість                                     |
| 3                  | деяка перевага однієї дії над іншою (слабка значимість) |
| 5                  | істотна або сильна перевага                             |
| 7                  | очевидна або дуже сильна перевага                       |
| 9                  | абсолютна перевага                                      |
| 2, 4, 6, 8         | проміжні значення між двома сусідніми судженнями        |

Для того щоб чисельні порівняння були обґрунтованими, не слід порівнювати більш ніж 7–9 елементів. Якщо кількість елементів для порівняння, розташованих на одному рівні більше 7–9, то необхідно проводити ієрархічну декомпозицію. Елементи групуються, і порівнюються класи з 7–9 елементів в кожному.

<sup>1)</sup> [11] Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ. М.: Юрайт, 2012. 679 с.



### 2.2.4 Розрахунок вектору пріоритетів

Отримавши сукупність матриць, можна приймати рішення на основі їх аналізу та розрахунку узагальнених оцінок альтернатив. Для цього можна застосувати різні способи усереднення. Саати пропонує використовувати геометричне усереднення і нормування отриманих узагальнених оцінок. Приклад такої процедури наведено нижче.

Спочатку виконується нормування значень по стовбцях:

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (2.2)$$

Далі розраховуються пріоритети по строках матриці шляхом визначення середнього арифметичного:

$$w_k = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}^*}{n} \quad (2.3)$$

Пріоритети синтезуються, починаючи з другого рівня, вниз. Локальні пріоритети перемножуються на пріоритет відповідного критерію на вищому рівні і сумуються по кожному елементу відповідно до критеріїв, на які впливає елемент.

У практичних завданнях кількісна і транзитивній (порядкова) однорідність (узгодженість) порушується, оскільки людські відчуття не можна висловити точною формулою. При порушенні однорідності ранг матриці відмінний від одиниці, і вона буде мати кілька власних значень. Однак при невеликих відхиленнях суджень від однорідності одне з власних значень буде істотно більше за інші і приблизно дорівнювати порядку матриці. Таким чином, для оцінки однорідності суджень експерта необхідно використовувати відхилення величини максимального власного значення  $\lambda_{max}$  від порядку матриці  $n$ .

Оскільки при такій, досить складній, процедурі обробки оцінок неминучі наближені обчислення коренів (особливо при великій кількості критеріїв), то для перевірки узгодженості отриманих результатів пропонується помножити матрицю на нормовані оцінки і отримати міру оцінки ступеня відхилення від узгоджених оцінок – індекси узгодженості для кожної з матриць ієрархії в цілому.

Відхилення від узгодженості виражається індексом узгодженості:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}. \quad (2.4)$$

Для визначення того, наскільки точно індекс узгодженості (CI) відображає узгодженість суджень, його необхідно порівняти з випадковим індексом узгодженості (RI) – відомим значенням, що залежить від розміру матриці і визначається за даним з табл.2.3.

Таблиця 2.3 – Індекс випадкової узгодженості

| Розмір матриці    | 1 | 2 | 3    | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------------|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| Випадковий індекс | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

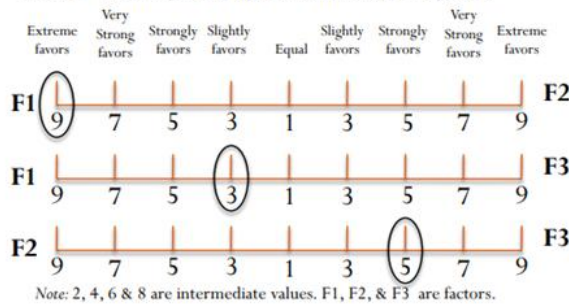
Оцінки експертів вважаються узгодженими, якщо значення відносини узгодженості ( $CR=CI/RI$ ) менше або дорівнює 0,1. Якщо необхідного рівня узгодженості досягти не вдалося, процедуру оцінки потрібно повторити.

Якщо для матриці парних порівнянь відношення однорідності  $CR > 0,1$ , то це свідчить про істотне порушення логічності суджень, допущене експертом при заповненні матриці, тому експерту пропонується переглянути дані, що використовувалися для побудови матриці, щоб поліпшити однорідність.

На рис. 2.2 наведений приклад процедури розрахунку векторів пріоритетів для вихідної матриці парних порівнянь, яке складається з чотирьох кроків:

- попарного порівняння критеріїв;
- побудови матриці парних порівнянь;
- нормалізації та розрахунку векторів пріоритетів;
- розрахунку індекса узгодженості.

#### Шаг 1 - Попарное сравнение критериев



#### Шаг 2 - Построение матрицы парных сравнений

|    | F1     | F2      | F3     |
|----|--------|---------|--------|
| F1 | 1      | 9       | 3      |
| F2 | 1/9    | 1       | 1/5    |
| F3 | 1/3    | 5       | 1      |
| Σ  | 1.4444 | 15.0000 | 4.2000 |

#### Шаг 3 - Нормализация и расчет весов

|    | F1     | F2     | F3     | Weight |
|----|--------|--------|--------|--------|
| F1 | 0.6923 | 0.6000 | 0.7143 | 0.6689 |
| F2 | 0.0769 | 0.0667 | 0.0476 | 0.0637 |
| F3 | 0.2308 | 0.3333 | 0.2381 | 0.2674 |

#### Шаг 4 - Расчет индекса согласованности (CR)

CR = Consistency index (CI)/Random Consistency Index (RI)

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

$$\lambda_{max} = (1.44 \cdot 0.67) + (15 \cdot 0.06) + (4.20 \cdot 0.27) = 3.0445$$

$$CI = (3.0445 - 3) / (3 - 1) \quad CI = 0.0445 / 2 \quad CI = 0.0222$$

$$CR = 0.0222 / 0.58 \quad CR = 0.04 < 0.10 \text{ (Допустимый)}$$

Случайный индекс согласованности (RI) (Saaty, 1980)

|      |   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| n -  | 1 | 2 | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| RI - | 0 | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 |

Рисунок 2.2 – Приклад процедури розрахунку векторів пріоритетів за методом аналізу ієрархій

### 2.2.5 Переваги та недоліки методу аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій має багаторічну практику застосування для вирішення найрізноманітніших прикладних багатокритеріальних задач, однак окремі науковці у свої публікаціях ставлять під сумнів коректність положень, що покладені в основі даного методу.

Розглянемо переваги методу, які відрізняє його від інших.

Метод дозволяє враховувати «людський фактор» при підготовці прийняття рішення.

Простота методу. Процедури розрахунків рейтингів в методі аналізу ієрархій досить прості, що вигідно відрізняє даний метод від інших методів прийняття рішень.

Контроль в процесі обробки даних. Збір даних для підтримки прийняття рішення здійснюється головним чином за допомогою процедури парних порівнянь. Результати парних порівнянь можуть бути суперечливими, але метод надає великі можливості для виявлення суперечностей в даних.

Наявність попарних порівнянь. Порівняння предметів за парам природно з «людської» точки зору. Відсутність необхідності постійно тримати в полі зору всі фактори дозволяє експерту сконцентрувати увагу на конкретній проблемі. Внаслідок цього слід очікувати більш точних результатів.

Розширення вихідної матриці. У практиці досліджень систем нерідко виникають ситуації, коли число факторів, що впливають змінюється. При використанні МАІ це призводить тільки до необхідності порівняння знову виникших пар або ж до викреслювання рядків і стовпців матриці парних порівнянь, відповідних вилученим з розгляду факторів. Отримані результати попередніх опитувань зберігаються, і повного оновлення анкети, як це відбувається в інших випадках, не потрібно.

Наявність вербально-числової шкали. Звичайні числові шкали не завжди зручні для зіставлення факторів, які висловлюються в різних розмірностях і поняттях, або є якісними. Вербально-числові шкали, одним з варіантів яких є шкала Саати, якраз і покликані оцінювати такі невідповідності показників факторів.

Незалежність експертів. Застосування методу дозволяє розбити велику задачу, на ряд малих самостійних завдань. Завдяки цьому для підготовки прийняття рішення можна залучити експертів, які працюють незалежно один від одного над локальними завданнями.

Адаптованість. Даний метод може служити надбудовою для інших методів, покликаних вирішувати погано формалізовані задачі, де більш адеква-

тно підходять людський досвід і інтуїція, ніж складні математичні розрахунки.

Універсальність. Схема застосування методу абсолютно не залежить від сфери діяльності, в якій приймається рішення. Тому метод є універсальним, його застосування дозволяє організувати систему підтримки прийняття рішень.

Однак крім переваг, даний метод має і ряд недоліків.

Достовірність результатів. МАІ немає засобів для перевірки достовірності даних. Це важливий недолік, що обмежує частково можливості застосування методу. Однак метод застосовується, головним чином, в тих випадках, коли в принципі не може бути об'єктивних даних, а провідними мотивами для прийняття рішення є переваги людей. При цьому процедура парних порівнянь для збору даних практично не має гідних альтернатив. Якщо збір даних проведено за допомогою досвідчених експертів і в даних немає істотних протиріч, то якість таких даних визнається задовільною.

Трудомісткість. Робота по підготовці прийняття рішень часто є занадто трудомісткою для однієї людини. Метод дає лише спосіб рейтингування альтернатив, але не має внутрішніх засобів для інтерпретації рейтингів, тобто вважається, що ОПР, знаючи рейтинг можливих рішень, повинен в залежності від ситуації сам зробити висновок.

«Зворотня» логіка. Критерії якості роботи і ставлення узгодженості теж часто ґрунтуються на відхиленні від якоїсь статистичної характеристики, наприклад математичного очікування. Як і всі критерії, що мають в основі статистичний характер, ставлення узгодженості є формальним і в деяких випадках призводить до результатів, що важко інтерпретуються. Так, можлива ситуація, коли в результаті опитувань експертів виявляється кілька випадків, коли вагові коефіцієнти різко відрізняються від більшості, а то і носять прямо протипожежний помилковий характер: ті чинники, яким більшість надавали найбільшу значимість, ці експерти оцінювали як менш значущі і навпаки. При усередненні результатів всіх експертів відповідають заданому критерію,

що зазвичай роблять для отримання узагальнених оцінок, це призводить до зміщення середніх значень вагових коефіцієнтів.

Таким чином, можна зробити висновок про унікальність методу аналізу ієрархій. Унікальність методу полягає в тому, що він є одночасно і якісним і кількісним. Будучи в основі якісним, тому що використовує інформацію про попарні якісні порівняння за лінгвістичними критеріями, МАІ дозволяє кількісно оцінити пріоритети альтернатив чи інших елементів ієрархії.

### **3 ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

#### **3.1 Класифікація систем підтримки прийняття рішень**

Під системами підтримки прийняття рішень (СППР) розуміються інтерактивно-автоматизовані системи, які дозволяють ОПР використовувати дані і знання об'єктивного і суб'єктивного характеру для вирішення слабо структурованих (погано формалізованих) проблем.

Розглянемо класифікацію систем прийняття рішень за основними класифікаційними ознаками [12]<sup>1)</sup>.

За характером підтримки рішень можна виділити два класи систем:

- системи спеціального призначення, орієнтовані на рішення певного класу завдань;
- універсальні системи, що забезпечують можливість швидкого налаштування на конкретне завдання синтезу або прийняття рішень.

Основна маса існуючих систем відповідає другій класифікаційній ознаці. За характером взаємодії користувача і системи можна виділити три класи:

- системи, ініціатором діалогу в яких є ЕОМ, а користувач виступає в ролі пасивного виконавця;
- системи, в яких користувач активний і є ініціатором діалогу;

---

<sup>1)</sup> [12] Румянцева, Е. Л. Информационные технологии. М.: Форум, Инфра, 2007. 256 с.

- системи, що характеризуються послідовною передачею управління від користувача до системи і навпаки.

Безумовно, системи другого класу становлять найбільший інтерес, оскільки вони дають користувачеві повну свободу вибору дій. Однак реалізація подібного способу взаємодії в системах, призначених для користувачів-непрофесіоналів, повинна ґрунтуватися на природній мові спілкування.

Більшість розроблюваних діалогових систем відноситься до третього класу. Принцип послідовної передачі управління дозволяє користувачеві взяти управління на певному етапі в свої руки і тим самим як би втрутитися в процес вирішення завдання, змінивши його в потрібному напрямку, шляхом завдання параметрів, вибору методу тощо.

За наявністю і характером бази даних в системі розрізняють:

- системи, які не передбачають будь-яких способів накопичення і зберігання інформації;
- системи, що мають базу даних або сукупність файлів для збору, накопичення і видачі інформації;
- системи, що мають розвинені системи управління базами даних.

Всі зазначені системи можуть бути використані для накопичення як об'єктивної статистичної, так і експертної інформації.

За наявністю інтелектуального компонента в системі розрізняють:

- системи, які не передбачають будь-яких способів накопичення і обробки поганоформалізованих знань;
- системи, що мають бази знань, механізми виведення і пояснення отриманих рішень.

Поява технології обробки знань зробило можливим використання в рамках автоматизованих процедур багатого методичного доробку з області штучного інтелекту.

Можна виділити основні класи задач, на вирішення яких спрямовано створення СППР:

- надання допомоги ОНР при аналізі вихідної інформації (оцінці ситуації, обстановки і обмежень, що накладаються зовнішнім середовищем);
- виявлення і ранжування пріоритетів, облік невизначеності в оцінках ОНР і формування його переваг;
- генерація можливих рішень (формування списку альтернатив);
- оцінка можливих альтернатив, виходячи з переваг ОНР, і обмеження, що накладаються зовнішнім середовищем;
- аналіз можливих наслідків прийнятих рішень;
- вибір кращого, з точки зору ОНР, можливого варіанту.

В існуючих в даний час СПНР для аналізу альтернатив і надання пропозицій використовуються різні інструменти, які можна розділити на декілька основних груп, таких як:

- інтелектуальний аналіз даних;
- пошук знань в базах даних;
- міркування на основі прецедентів;
- системний аналіз;
- еволюційні обчислення і генетичні алгоритми;
- нейронні мережі;
- ситуаційний аналіз;
- когнітивне моделювання та ін.

Формалізація методів аналізу і генерації рішень, їх оцінка та узгодження є досить складним завданням.

Її рішення стало можливим у зв'язку з широким застосуванням засобів обчислювальної техніки і багато в чому залежить від можливостей технічних програмних засобів, що реалізують методи і способи інтелектуальної підтримки прийнятих рішень.



### 3.2 Огляд систем підтримки прийняття рішень

Розглянемо найбільш поширені на сьогоднішній день програмні продукти, що реалізують МАІ, проаналізувавши їх властивості, пов'язані з областю застосування, рівнем функціональності і підтримкою зручного для користувача інтерфейсу.

СППР Expert Choice [13]<sup>1)</sup>. Програма розроблена в університеті Дж. Вашингтона (США) Ернестом Форман, відома по всьому світу. Фірма Expert Choice є світовим лідером в області створення програмних продуктів по реалізації СППР. Даними продуктами користуються більше 100 провідних світових фірм (IBM, General motors, Boeing, AOL, NISA, GAO, IRS). Це програмне забезпечення викладається більш ніж в 100 університетах і використовується в 60 країнах. Інтерфейс програми представлений на рис.3.1.

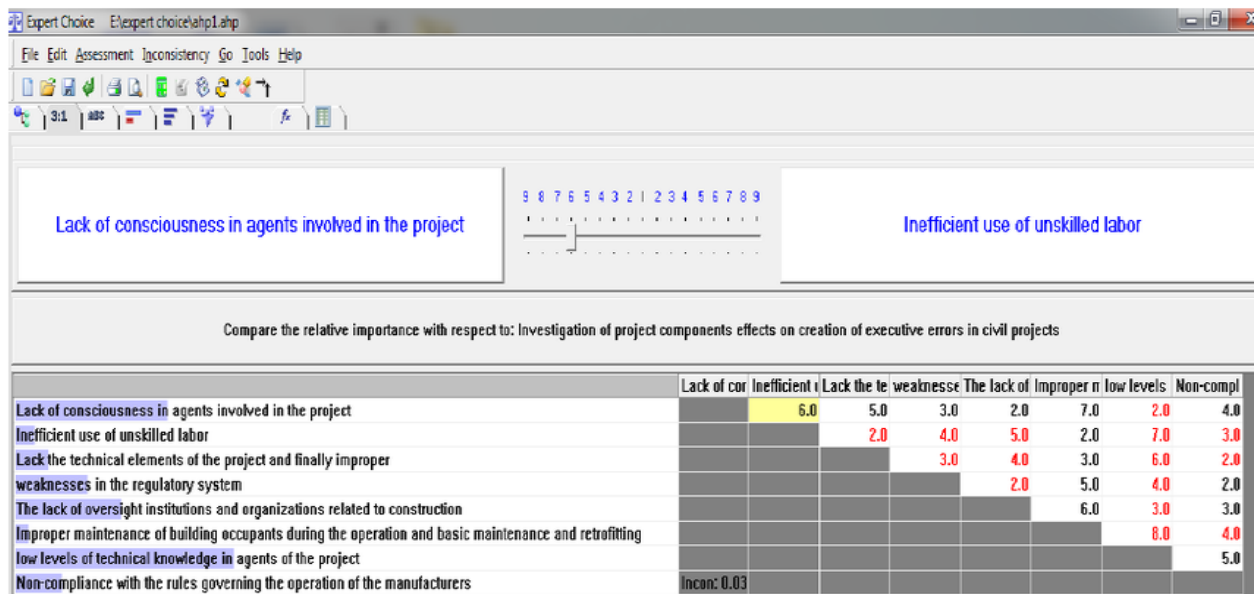


Рисунок 3.1 – Інтерфейс СППР Expert Choice

Система має наступні особливості:

<sup>1)</sup> [13] ExpertChoice for Collaborative Decision Making. Офіційний сайт. URL: <http://www.expertchoice.com> (дата звернення 13.05.2019)

- простий інтерфейс для створення моделі введення суджень, що не вимагає ніяких теоретичних знань про математичні засади МАІ;
- є можливість додавання коментарів і будь-яких інших даних до критеріїв, реалізовано три режими парних порівнянь: вербальний, числовий і графічний;
- існує можливість врахування думок декількох експертів, оцінка роботи окремих експертів, а також розрахунок ступеня узгодженості їх роботи;
- є велика кількість налаштувань проекту;
- існує можливість синхронного і асинхронного режиму роботи експертів.

Однак, треба відзначити одну досить вагому характеристику – для роботи з системою Expert Choice потрібна покупка дорогої ліцензії, крім того СППР не є мультимовною, підтримується лише англomовна версія програми.

СППР Decision Lens [14]<sup>1)</sup>. Дана програма є комерційним продуктом для підтримки прийняття рішень, що використовуються провідними компаніями світу. Забезпечує широкий інструментарій по роботі з методом аналізу ієрархій, однак з недоліків можна відзначити відсутність демонстративної версії продукту, що не дозволяє ознайомитися з її можливостями більш детально. Інтерфейс програми наведений на рис.3.2.

СППР «Выбор» є аналітичною системою (рис.3.3), заснованої на МАІ, можливості якої дозволяють [15]<sup>2)</sup>:

- структурувати проблему;
- побудувати набір альтернатив;
- виділити фактори, що їх характеризують;
- задати значимість цих факторів;

---

<sup>1)</sup> [14] Decision Lens. Офіційний сайт. URL:<http://www.decisionlens.com> (дата звернення 13.05.2019)

<sup>2)</sup> [15] СППР "Выбор". Офіційний сайт URL:<http://www.cirtas.ru/> (дата звернення 13.05.2019)

- оцінити альтернативи за кожним з факторів;
- знайти неточності і протиріччя в судженнях ОПР;
- проранжувати альтернативи;
- провести аналіз рішення і обґрунтувати отримані результати.

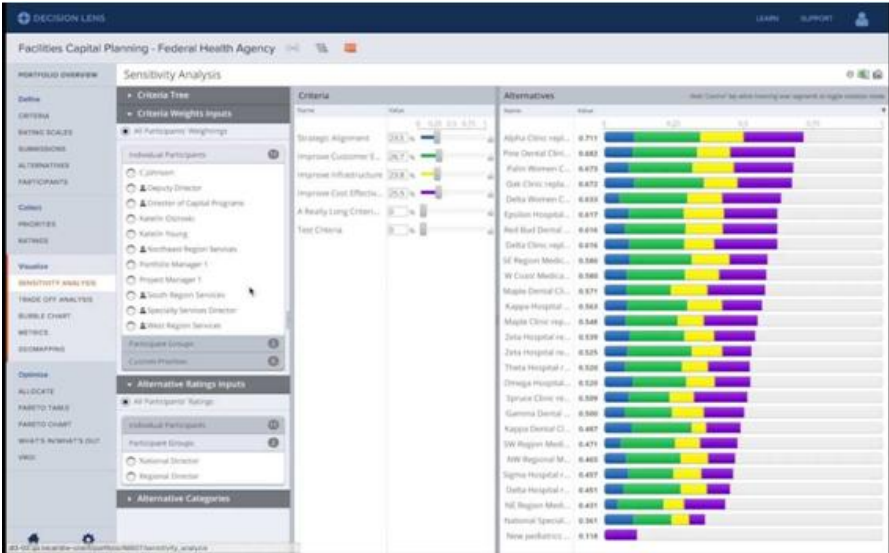


Рисунок 3.2 – Интерфейс СППР Decision Lens

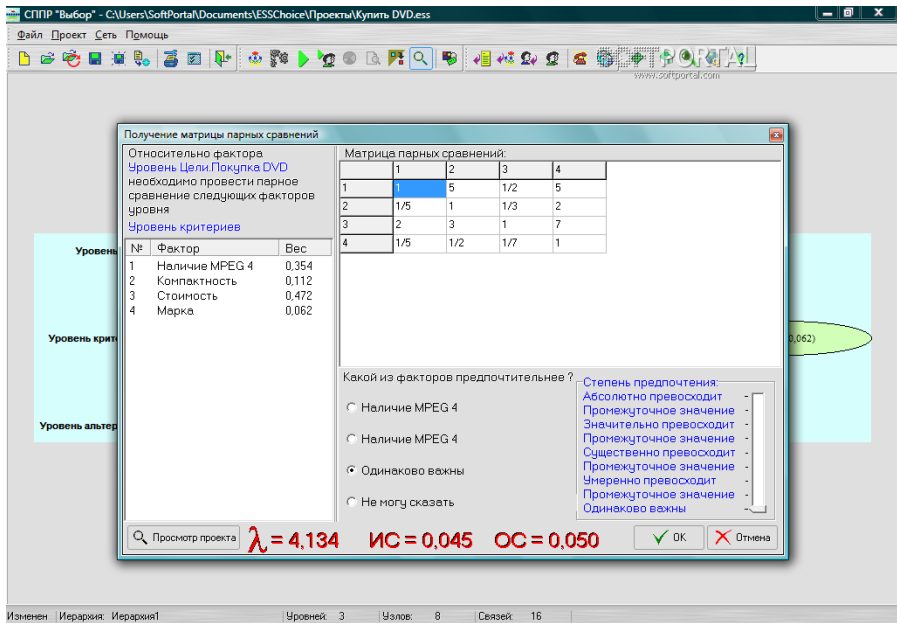


Рисунок 3.3 – Интерфейс СППР «Выбор»

Дана система орієнтована на вирішення таких типових задач:

- оцінка якості організаційних, проектних і конструкторських рішень;
- визначення політики інвестицій в різних областях; завдання розміщення (вибір місця розташування шкідливих та небезпечних виробництв, пунктів обслуговування);
- розподіл ресурсів;
- проведення аналізу проблеми за методом «вартість-ефективність»;
- стратегічне планування;
- проектування і вибір устаткування, товарів;
- вибір професії, місця роботи, підбір кадрів.

Основними недоліками системи є неможливість організації роботи груп експертів, а також можливість використання програми тільки в платному режимі, шляхом покупки ліцензії.

Система MPRIORITY створена російськими розробниками Абакарова А.Ш. і Сушкова Ю.А. у 2005 році. Інтерфейс програми представлений на рис.3.4.

Серед достоїнств системи можна відзначити [16]<sup>1)</sup>:

- можливість використання для знаходження найкращого рішення багатокритеріальних задач різної спрямованості;
- простий інтерфейс;
- можливість візуалізації отриманих підсумкових результатів у вигляді діаграм.

Однак дана система має більше недоліків, ніж переваг, серед яких важливе значення мають наступні:

- використання шаблонів. MPRIORITY, як і більшість існуючих на ринку програм працює на заздалегідь створених шаблонах, з заздалегідь визначеною кількістю рівнів;
- відсутня можливість роботи декількох експертів;

---

<sup>1)</sup> [16] MPRIORITY. Офіційний сайт URL:<http://www.tomakechoice.com> (дата звернення 13.05.2019)

- при порушенні властивості транзитивності матриць парних порівнянь, система видає помилку;
- одним з головних недоліків даної програми є досить дорога ліцензія.

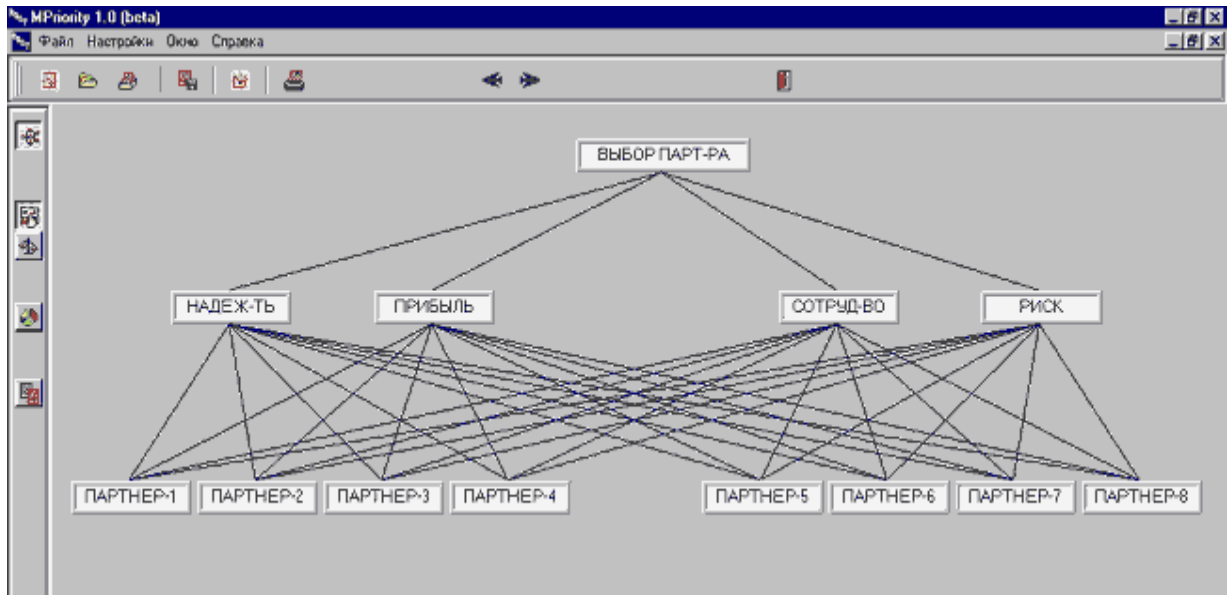


Рисунок 3.4 – Інтерфейс системи MPRIORITY

СППР WinEXP +. Дана програма є інструментальним засобом для побудови систем експертних оцінок. Функціональні можливості системи забезпечують:

- створення складних і розгалужених ієрархій;
- створення та редагування графічних схем ситуацій прийняття рішення;
- проведення парних порівнянь;
- обчислення пріоритетів альтернативних рішень;
- збереження ієрархій у відповідних файлах;
- пряме і зворотне планування.

Перевагами системи є:

- дружній інтерфейс, що включає інтерактивну довідку;

- гнучкі налаштування кольору системи;
- можливість розширення системи;
- простота і доступність при навчанні користувачів.

Для порівняння програмних продуктів, що реалізують МАІ, між собою виділимо декілька основних критеріїв:

К1 – вид поширення ПЗ;

К2 – універсальність (можливість працювати з будь-якою предметною областю);

К3 – простота інтерфейсу;

К4 – можливість внесення змін в ієрархічну модель на будь-якому етапі алгоритму;

К5 – можливість врахування думок групи експертів;

К6 – перевірка ступеня узгодженості оцінок експертів;

К7 – використання різних шкал для завдання рівня пріоритетів;

К8 – можливість вивантаження звіту в текстові редактори;

К9 – можливість обліку як кількісних, так і якісних показників;

К10 – розширюваність системи в плані використовуваних методів.

У таблиці 3.1 наведено порівняльний аналіз найбільш поширених систем за вищенаведеними критеріям.

Таблиця 3.1 – Порівняльний аналіз СППР, що реалізують МАІ

| Назва СППР    | Критерії |    |    |    |    |     |    |    |    |     |
|---------------|----------|----|----|----|----|-----|----|----|----|-----|
|               | К1       | К2 | К3 | К4 | К5 | К6  | К7 | К8 | К9 | К10 |
| Expert Choice | Demo     | +  | +  | –  | +  | +/- | –  | –  | –  | –   |
| MPRIORITY     | Freeware | +  | –  | –  | –  | +   | –  | –  | –  | –   |
| СППР «Выбор»  | Demo     | –  | +  | –  | –  | +   | –  | +  | –  | –   |
| Decision Lens | Demo     | +  | +  | –  | +  | +/- | –  | –  | –  | –   |
| WinEXP+       | Freeware | +  | +  | –  | –  | –   | –  | –  | –  | –   |

Як можна побачити з наведених результатів аналізу СППР в табл.3.1 не всі критерії, що розглядаються, реалізовані в сучасних системах. Це обумовлює актуальність створення нових програмних систем, що реалізують МАІ.

## **4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСТОСУНКА ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ АНАЛІЗА ІЄРАРХІЙ**

### **4.1 Обґрунтування вибору програмних засобів розробки**

Одним з важливих завдань при розробці програмного забезпечення є вдалий вибір мови програмування. Розглянемо переваги і недоліки популярних мов програмування з метою вибору оптимального варіанту для реалізації програми. В якості кандидатів для виконання даного завдання були вибрані наступні перелічені нижче мови програмування.

Microsoft Visual C ++. Мова програмування Visual C ++ з середовища розробки Visual Studio компанії Microsoft найбільш потужний засіб розробки системних програм. Однак, розробка програм на цій мові – трудомісткий і складний процес.

Microsoft Visual Basic. Об'єктно-орієнтована мова програмування, як правило, вбудована в додатки Microsoft Office. До переваг можна віднести простоту створення нескладних додатків, а також можливість редагування і створення компонент Microsoft Office.

Delphi. Заснована на Паскалі, об'єктно-орієнтоване середовище розробки компанії Borland. Має зручні засоби для розробки віконних додатків. Крім цього є стандартні компоненти для роботи і з базами даних і з веб-сервісами.

C # .NET. C # об'єктно-орієнтована мова, як і вся платформа .NET, яка орієнтована на написання компонент. Переїнявши багато від своїх попередників – мов C ++, Java, Delphi, Модуля і Smalltalk – C #, спираючись на практику їх використання, виключає деякі моделі, що зарекомендували себе як проблематичні при розробці програмних систем, наприклад, C # не підтримує множинне успадкування класів. В основі мови – легкість викори-

стання, переважна надпотужністю і швидкістю виконання. Збирач сміття, керуючи об'єктними посиланнями, автоматично звільняє пам'ять. Дає безпеку роботи з типами – один з найважливіших факторів уникнення помилок. С # дає можливість реалізації графічних додатків. Windows. Forms – це набір різних керованих бібліотек, за допомогою яких можна виконати всі необхідні для віконного програми дії, починаючи від обміну повідомленнями з операційною системою для відстеження будь-яких подій клієнтського вікна, закінчуючи діалоговими системами, зв'язком з іншими комп'ютерами по мережі і багатьма іншими можливостями. Windows Forms є ще однією з двох технологій, яка використовується в Visual C # для створення інтелектуальних клієнтських програми на основі Windows, які виконуються в середовищі .NET Framework.

Java – об'єктно-орієнтована і крос-платформна мова програмування, яка дозволяє скоротити загальний час розробки і писати повторно використовуваний код. Платформонезалежність байт-коду забезпечується наявністю віртуальних java-машин для всіх основних платформ. У комплект поставки Java входять стандартні класи, які мають достатньою функціональністю для швидкої розробки додатків. Розвинені засоби безпеки дозволяють використовувати Java для розробки додатків, що працюють в Інтернеті. Недоліком Java є повільна швидкість роботи, обумовлена використанням JIT-компіляторів.

Після проведеного аналізу, було вирішено для реалізації нашого програмного продукту використати мову програмування C #. Це обумовлено тим, що C # має широкий інструментарій, безліч спеціальних бібліотек. Крім цього, мова має багатий інструментарій для побудови екранних форм [17]<sup>1)</sup>.

В якості середовища розробки було обране середовище Microsoft Visual Studio. Середовище розробки Visual Studio продовжує традиції корпорації Microsoft в області надання ефективних інструментальних засобів для розро-

---

<sup>1)</sup> [13] Голуб Б.М. C#. Концепція та синтаксис. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2006. 136 с.



бників складного ПЗ. Забезпечуючи середу розробки для всіх мов програмування, доповнену набором вікон з інтуїтивно зрозумілими інструментальними засобами, контекстної довідки, автоматизованими механізмами виконання різноманітних завдань розробки.

Visual Studio дозволяє в стислі терміни проводити професійну розробку програм різного призначення, в тому числі з підтримкою технології Windows Forms, а також веб-сайти, веб-додатки, веб-служби для всіх платформ, що підтримуються Windows, Windows Mobile, Windows CE, .NET Framework, Xbox, Windows Phone .NET Compact Framework і Silverlight.

Visual Studio включає в себе редактор вихідного коду з підтримкою технології IntelliSense і можливістю найпростішого рефакторінга коду. Вбудований відладчик може працювати як відладчик рівня вихідного коду, так і як відладчик машинного рівня. Visual Studio дозволяє створювати і підключати сторонні додатки (плагіни) для розширення функціональності практично на кожному рівні, включаючи додавання підтримки систем контролю версій вихідного коду (як, наприклад, Subversion і Visual SourceSafe).

## **4.2 Реалізація інтерфейсу програми**

Створена програма реалізує описаний вище алгоритм вирішення задач багатокритеріального вибору методом аналізу ієрархій.

Перш ніж перейти до вирішення задачі можна налаштувати метод обробки матриць для обчислення векторів пріоритетів для матриць парних порівнянь. На рис. 4.1 зображено вікно вибору методу обробки даних, доступно 4 методи обробки матриць.

Для задання умов задачі та її подальшого вирішення, слід перейти до введення альтернатив та критеріїв, за якими ці альтернативи будуть обиратися. У вікні «Альтернативи» (рис. 4.2) слід додати альтернативи (від 3 до 12), що будуть розглядатися. При великій кількості альтернатив задача багаток-

ритеріального вибору стає дуже складною для розрахунків, а особливо для ОПР на етапах попарних порівнянь.

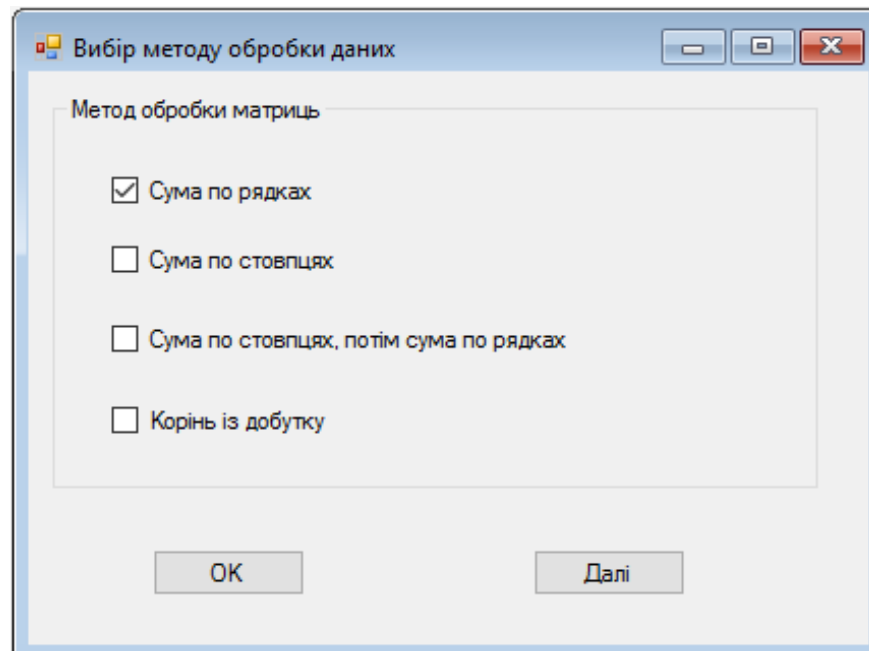


Рисунок 4.1 – Вікно вибору методу обробки даних

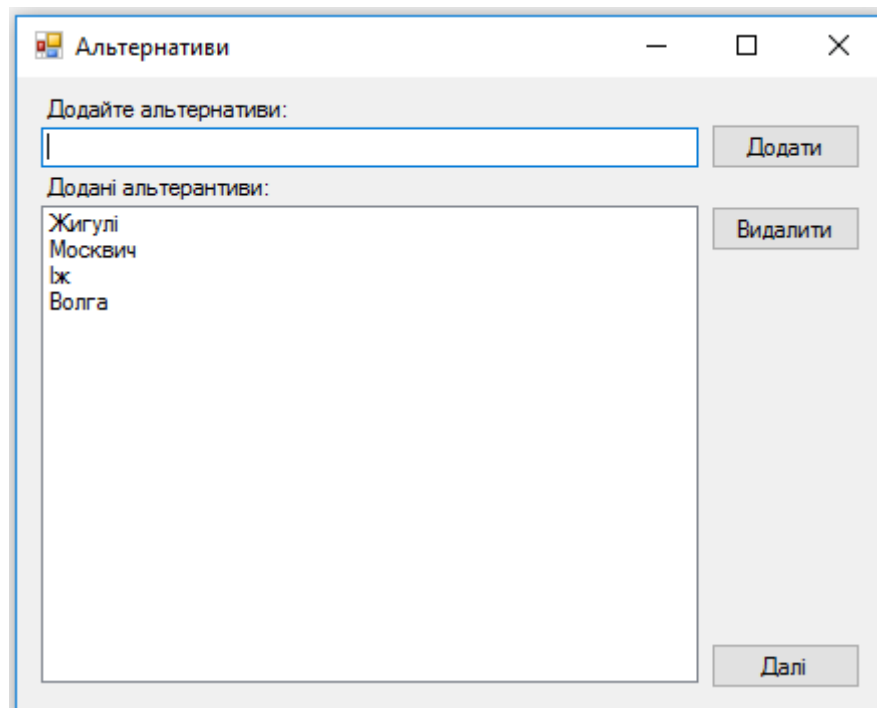


Рисунок 4.2 – Вікно додавання альтернатив

У вікні «Критерії» (рис. 4.3) слід обрати кількість критеріїв (від 3 до 9) та ввести їх назви.

Після натискання кнопки «Далі» відбувається перехід до заповнення матриць парних порівнянь критеріїв. Далі у вікнах «Пріоритети критеріїв» слід для кожної пари критеріїв вказати у скільки разів один критерій важливіше за інший (рис.4.4). Після цього у вікні програми з'явиться заповнена матриця парних порівнянь для критеріїв.

Ця процедура надає можливість експертам заповнити матрицю парних порівнянь для подальшого розрахунку ваг пріоритетів для критеріїв. Розрахунок цих ваг надасть можливість у подальшому обчислити вагу альтернатив і тим сами визначити найкращу альтернативу, тобто досягти мети задачі прийняття рішення.

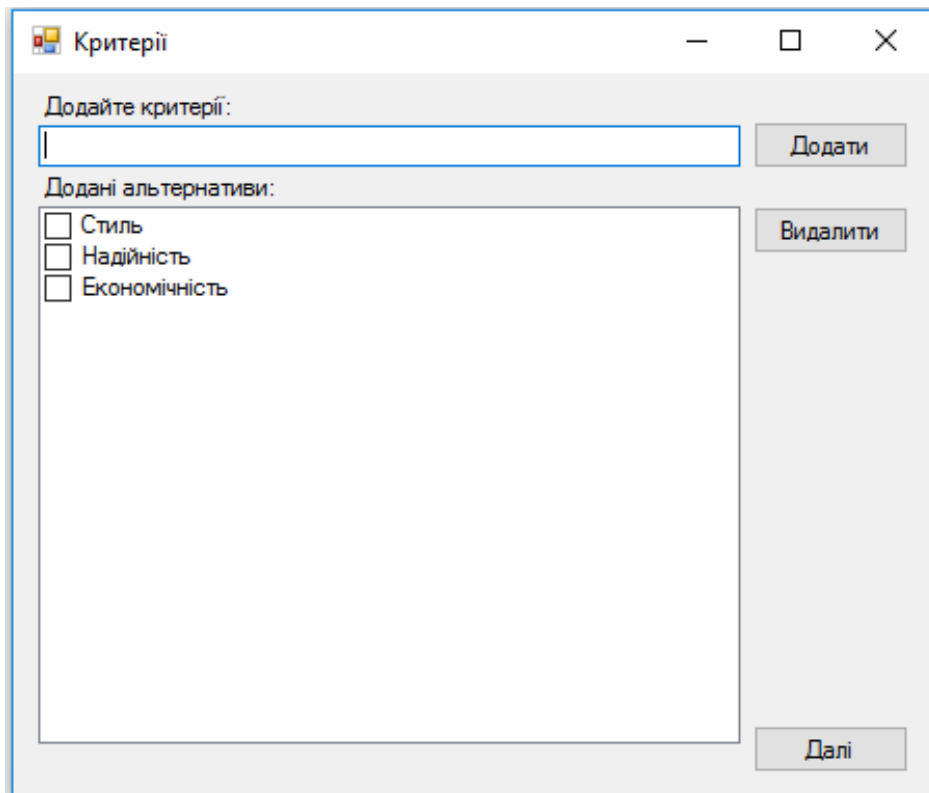


Рисунок 4.3 – Вікно додавання критеріїв

Пріоритети критеріїв

Введення пріоритетів критеріїв

У скільки разів критерій Стиль важливіше за Надійність ?

1.00 OK

Після введення пріоритетів буде побудована таблиця

|               | Стиль | Надійність | Економічність |
|---------------|-------|------------|---------------|
| ► Стиль       |       |            |               |
| Надійність    |       |            |               |
| Економічність |       |            |               |

Далі

Рисунок 4.4 – Вікно введення пріоритетів критеріїв

У вікні «Порівняння альтернатив» (рис. 4.5) необхідно ввести значення парних порівнянь альтернатив за кожним з критеріїв і заповнити таким чином відповідну матрицю парних порівнянь.

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. Після заповнення усіх матриць парних порівнянь буде виведене вікно «Результат» (рис. 4.6) з результатом вирішення задачі. Для формування звіту слід натиснути кнопку «Сформувати звіт», а для його збереження у текстовий файл – «Зберегти звіт».

Порівняння альтернатив

Зараз треба провести парні порівняння  
Критерій Стиль для Жигулі і Москвич?

1,00

Після введення порівнянь буде побудована таблиця і розраховані ваги:

|         | Жигулі | Москвич | Іж | Волга |
|---------|--------|---------|----|-------|
| Жигулі  |        |         |    |       |
| Москвич |        |         |    |       |
| Іж      |        |         |    |       |
| Волга   |        |         |    |       |

Рисунок 4.5 – Вікно парних порівнянь альтернатив за кожним критерієм

Результат

Ваги критеріїв

|               | Вага критерія     |
|---------------|-------------------|
| Стиль         | 0,333333333333... |
| Надійність    | 0,333333333333... |
| Економічність | 0,333333333333... |

Зважена середня арифметична сума (з урахуванням ваг критеріїв)

|   | Стиль | Надійність | Економічність | Вес  |
|---|-------|------------|---------------|------|
| > | 0,25  | 0,25       | 0,25          | 0,25 |
| А | 0,25  | 0,25       | 0,25          | 0,25 |
| Б | 0,25  | 0,25       | 0,25          | 0,25 |
| Е | 0,25  | 0,25       | 0,25          | 0,25 |
|   |       |            | Сума          | 1    |

Рекомендація - Жигулі

Рисунок 4.6 – Вікно виведення результату

### 4.3 Тестування системи на конкретному прикладі

Виконаємо тестування розробленої програми, що реалізує метод аналізу ієрархій для підтримки прийняття рішень на конкретному простому прикладі. Нехай особі, що приймає рішення необхідно здійснити вибір марки автомобіля серед: жигулі, москвич, таврія, волга, за наступними критеріями: стиль, надійність, економічність. Для нашого випадку структура ієрархії прийняття рішень за МАІ набуде вигляду, як на рис.4.7.

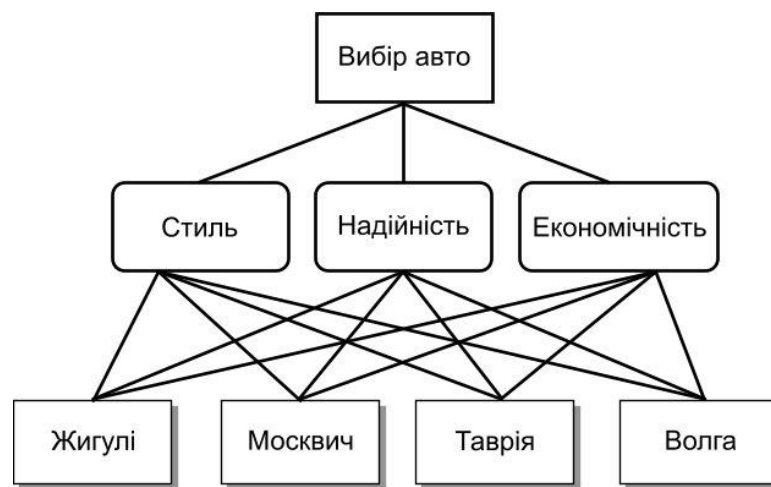


Рисунок 4.7 – Структура ієрархії прийняття рішень

За допомогою формул (2.1) – (2.3) побудуємо матрицю парних порівнянь для критеріїв задачі та розрахуємо вектор пріоритетів критеріїв. Введемо наступні позначення: К1 – надійність, К2 – економічність, К3 – стиль. Оцінку будемо здійснювати за шкалою Сааті. Вигляд матриці порівнянь з розрахованими пріоритетами критеріїв наведена у табл.4.1.

Далі виконаємо порівняння альтернатив за наведеними критеріями. Для цього побудуємо окремі матриці парних порівнянь альтернатив для кожного критерія (табл.4.2 – табл.4.4). Введемо наступні позначення: А1 – Жигулі, А2 – Москвич, А3 – Таврія, А4 – Волга.

Таблиця 4.1 – Матриця парних порівнянь критеріїв

|          | K1                | K2   | K3   | Пріоритети |
|----------|-------------------|------|------|------------|
| K1       | 1                 | 3    | 5    | 0.633346   |
| K2       | 1/3               | 1    | 3    | 0.260498   |
| K3       | 1/5               | 1/3  | 1    | 0.106156   |
| $\Sigma$ | 1.53              | 4.33 | 9.00 | 1.00       |
| CR       | CR = 0.048 < 0.10 |      |      | допустимий |

Таблиця 4.2 – Матриця парних порівнянь альтернатив за критерієм K1

|          | A1                | A2    | A3   | A4   | Пріоритети |
|----------|-------------------|-------|------|------|------------|
| A1       | 1                 | 4     | 2    | 1/2  | 0.275474   |
| A2       | 1/4               | 1     | 1/2  | 1/6  | 0.074303   |
| A3       | 1/2               | 2     | 1    | 1/4  | 0.137737   |
| A4       | 2                 | 6     | 4    | 1    | 0.512486   |
| $\Sigma$ | 3.75              | 13.00 | 7.50 | 1.92 | 1.00       |
| CR       | CR = 0.005 < 0.10 |       |      |      | допустимий |

Таблиця 4.3 – Матриця парних порівнянь альтернатив за критерієм K2

|          | A1                | A2   | A3   | A4    | Пріоритети |
|----------|-------------------|------|------|-------|------------|
| A1       | 1                 | 2    | 1/2  | 4     | 0.275474   |
| A2       | 1/2               | 1    | 1/4  | 2     | 0.137737   |
| A3       | 2                 | 4    | 1    | 6     | 0.512486   |
| A4       | 1/4               | 1/2  | 1/6  | 1     | 0.074303   |
| $\Sigma$ | 3.75              | 7.50 | 1.92 | 13.00 | 1.00       |
| CR       | CR = 0.005 < 0.10 |      |      |       | допустимий |

Таблиця 4.4 – Матриця парних порівнянь альтернатив за критерієм КЗ

|          | A1                | A2    | A3   | A4   | Пріоритети |
|----------|-------------------|-------|------|------|------------|
| A1       | 1                 | 4     | 2    | 1/2  | 0.275474   |
| A2       | 1/4               | 1     | 1/2  | 1/6  | 0.074303   |
| A3       | 1/2               | 2     | 1    | 1/4  | 0.137737   |
| A4       | 2                 | 6     | 4    | 1    | 0.512486   |
| $\Sigma$ | 3.75              | 13.00 | 7.50 | 1.92 | 1.00       |
| CR       | CR = 0.005 < 0.10 |       |      |      | допустимий |

Далі використовуючи зважену суму знайдемо загальні пріоритети для кожного варіанту. Результат розрахунку представлений у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Пріоритети альтернатив

|          | Пріоритети |
|----------|------------|
| A1       | 0.28       |
| A2       | 0.09       |
| A3       | 0.24       |
| A4       | 0.40       |
| $\Sigma$ | 1.00       |

Перш ніж перейти до вирішення задачі можна налаштувати метод обробки матриць для обчислення векторів пріоритетів для матриць парних порівнянь. На рис. 4.1 зображено вікно вибору методу обробки даних, доступно 4 методи обробки матриць.

Для задання умов задачі та її подальшого вирішення, слід перейти до введення альтернатив та критеріїв, за якими ці альтернативи будуть обирати-



ся. У вікні «Альтернативи» (рис. 4.7) слід додати альтернативи, що будуть розглядатися. У вікні «Критерії» (рис. 4.8) слід ввести назви критеріїв.

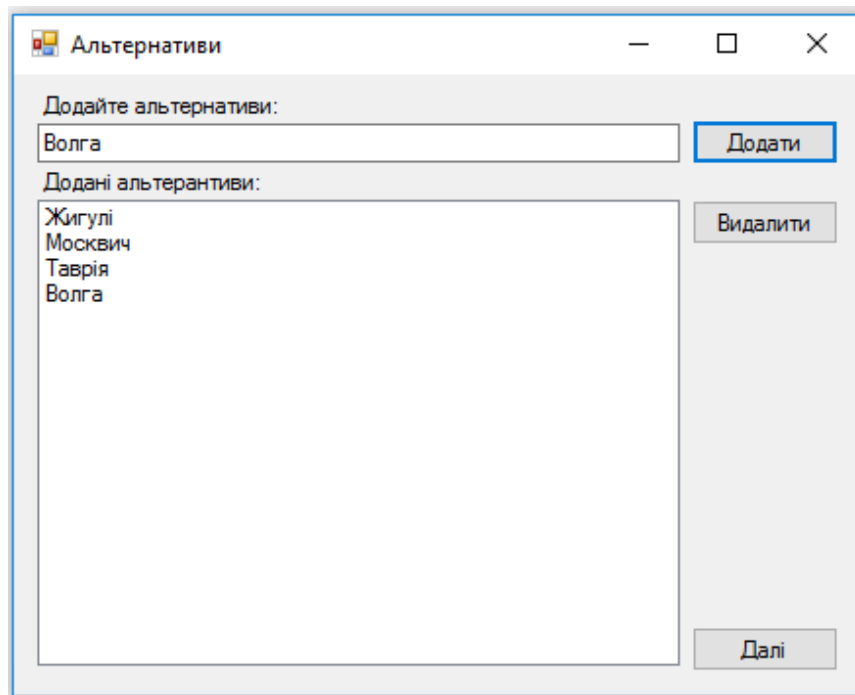


Рисунок 4.7 – Вікно додавання альтернатив

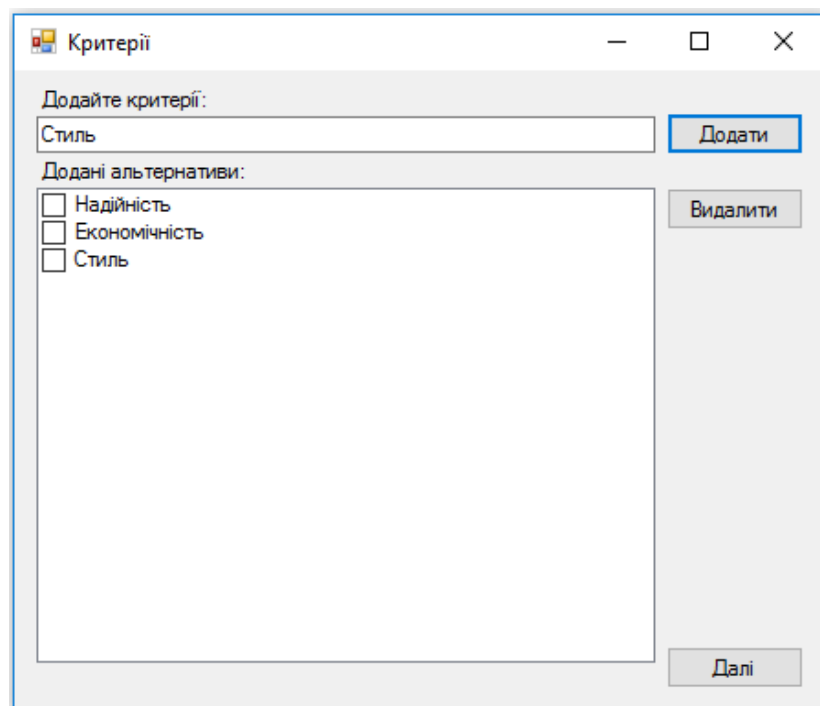


Рисунок 4.8 – Вікно додавання критеріїв

Після натискання кнопки «Далі» відбувається перехід до заповнення матриць парних порівнянь критеріїв. Далі у вікнах «Пріоритети критеріїв» слід для кожної пари критеріїв вказати у скільки разів один критерій важливіше за інший, після цього у вікні програми з'явиться заповнена матриця парних порівнянь для критеріїв (рис.4.9).

Пріоритети критеріїв

Введення пріоритетів критеріїв

Пріоритети для всіх критеріїв введені.

3,00

OK

Після введення пріоритетів буде побудована таблиця

|               | Надійність        | Економічність     | Стиль | Вага              |
|---------------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|
| ▶ Надійність  | 1                 | 3                 | 5     | 0,605381165919... |
| Економічність | 0,333333333333... | 1                 | 3     | 0,291479820627... |
| Стиль         | 0,2               | 0,333333333333... | 1     | 0,103139013452... |
|               |                   |                   | Сумма | 1                 |

Далі

Рисунок 4.9 – Матриця парних порівнянь критеріїв

У вікні «Порівняння альтернатив» необхідно ввести значення парних порівнянь альтернатив за кожним з критеріїв і заповнити таким чином відповідну матрицю парних порівнянь. Матриця парних порівнянь альтернатив за критерієм «Надійність», «Економічність» і «Стиль» наведені на рис. 4.10, 4.11 і 4.12 відповідно. Останній стовпчик являє собою розрахунок ваг альтернатив за відповідним критерієм, який у подальшому буде агрегований за допомогою методу зваженої суми у загальний пріоритет альтернативи, з метою вибрати кращий варіант.

Порівняння альтернатив

Зараз треба провести парні порівняння

Порівняння для критерія Надійність зроблені:

0,25

Після введення порівнянь буде побудована таблиця і розраховані ваги:

|         | Жигулі | Москвич           | Таврія | Волга | Вага              |
|---------|--------|-------------------|--------|-------|-------------------|
| Жигулі  | 1      | 4                 | 2      | 0,5   | 0,287881866829... |
| Москвич | 0,25   | 1                 | 0,5    | 0,17  | 0,073697757908... |
| Таврія  | 0,5    | 2                 | 1      | 0,25  | 0,143940933414... |
| Волга   | 2      | 5,882352941176... | 4      | 1     | 0,494479441847... |
|         |        |                   |        | Сума  | 1                 |

Далі

Рисунок 4.10 – Матриця парних порівнянь за критерієм надійність

Порівняння альтернатив

Зараз треба провести парні порівняння

Порівняння для критерія Економічність зроблені:

6,00

Після введення порівнянь буде побудована таблиця і розраховані ваги:

|         | Жигулі | Москвич | Таврія            | Волга | Вага              |
|---------|--------|---------|-------------------|-------|-------------------|
| Жигулі  | 1      | 2       | 0,5               | 4     | 0,286624203821... |
| Москвич | 0,5    | 1       | 0,25              | 2     | 0,143312101910... |
| Таврія  | 2      | 4       | 1                 | 6     | 0,496815286624... |
| Волга   | 0,25   | 0,5     | 0,166666666666... | 1     | 0,073248407643... |
|         |        |         |                   | Сума  | 1                 |

Далі

Рисунок 4.11 – Матриця парних порівнянь за критерієм економічність

Порівняння альтернатив

Зараз треба провести парні порівняння

Порівняння для критерія Стиль зроблені:

0,25

Після введення порівнянь буде побудована таблиця і розраховані ваги:

|         | Жигулі | Москвич           | Таврія | Волга | Вага              |
|---------|--------|-------------------|--------|-------|-------------------|
| Жигулі  | 1      | 4                 | 2      | 0,5   | 0,287881866829... |
| Москвич | 0,25   | 1                 | 0,5    | 0,17  | 0,073697757908... |
| Таврія  | 0,5    | 2                 | 1      | 0,25  | 0,143940933414... |
| Волга   | 2      | 5,882352941176... | 4      | 1     | 0,494479441847... |
|         |        |                   |        | Сума  | 1                 |

Далі

Рисунок 4.12 – Матриця парних порівнянь за критерієм стиль

Після заповнення усіх матриць парних порівнянь буде виведене вікно «Результат» (рис. 4.13) з результатом вирішення задачі. Для формування звіту слід натиснути кнопку «Сформувати звіт», а для його збереження у текстовий файл – «Зберегти звіт».

Результат

Ваги критеріїв

|               | Вага критерія     |
|---------------|-------------------|
| Надійність    | 0,605381165919... |
| Економічність | 0,291479820627... |
| Стиль         | 0,103139013452... |

Зважена середня арифметична сума (з урахуванням ваг критеріїв)

|         | Надійність        | Економічність     | Стиль             | Вес               |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Жигулі  | 0,287881866829... | 0,286624203821... | 0,287881866829... | 0,287515283441... |
| Москвич | 0,073697757908... | 0,143312101910... | 0,073697757908... | 0,093988934411... |
| Таврія  | 0,143940933414... | 0,496815286624... | 0,143940933414... | 0,246796686592... |
| Волга   | 0,494479441847... | 0,073248407643... | 0,494479441847... | 0,371699095555... |
|         |                   |                   | Сумма             | 1                 |

Рекомендація - Волга

Сформувати звіт    Зберегти звіт

Рисунок 4.13 – Вікно результату прийняття рішення

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання даної роботи було проведено дослідження одного з методів вирішення задач багатокритеріальної оптимізації – методу аналізу ієрархій. В результаті аналізу виявлені переваги і недоліки методу, описана послідовність його виконання.

В результаті проведеного дослідження також були вирішені такі завдання:

- розглянуті основні поняття теорії прийняття рішень;
- виконаний огляд розробок і проаналізовані підходи до реалізації існуючих програмних продуктів для проведення складних експертиз;
- на основі результатів дослідження розроблено оригінальний програмний продукт для підтримки прийняття рішень в різних сферах діяльності людини в незалежності від конкретної поставленої задачі на основі методу аналізу ієрархій.
- виконано тестування програми на конкретній задачі багатокритеріального вибору.

Розроблена програма орієнтована на широке коло користувачів, серед яких можуть бути особи, в силу професійної специфіки пов'язані з вирішенням завдань вибору, а саме: керівники, наукові співробітники, соціологи, політики, консультанти та ін. Перелік завдань, що вирішуються за допомогою розробленої системи, може бути безмежним. Найбільш типові з них: конкурсна оцінка, вибір найбільш вигідного товару для продажу, оцінка нерухомості, профорієнтація абітурієнтів, складання рейтингу клієнтів компанії, аналіз ризиків, розподіл ресурсів, вибір оптимальної стратегії розвитку, прийняття кадрових рішень тощо.

В даний час в програмі реалізованих лише метод аналізу ієрархій. Надалі планується додати інші методи багатокритеріального вибору і підтримку суджень групи експертів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Козлов, В. Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений. М.: Проспект, 2012. 176 с.
2. Волкова, В. Н. Системный анализ и принятие решений. М.: Высш.шк., 2004. 616 с.
3. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М., "Наука", 1981. 487 с.
4. Лотов А. В. Многокритериальные задачи принятия решений. М.: МАКС Пресс, 2008. 197 с.
5. Миркин Б.Г. Проблема группового выбора. М., "Наука", ФМ, 1974. 312 с.
6. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности. М.: Наука, 1981. 258 с.
7. Панкова Л. А., Петровский А. М., Шнейдерман М. В. Организация экспертизы и анализ экспертной информации. М.: Наука, 1984. 120 с.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
9. Андрейчиков, А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М.: Финансы и статистика, 2000. 368 с.
10. Мухин В. И. Исследование систем управления. М.: Экзамен, 2006. 479 с.
11. Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ. М.: Юрайт, 2012. 679 с.
12. Румянцева, Е. Л. Информационные технологии. М.: Форум, Инфра, 2007. 256 с.
13. ExpertChoice for Collaborative Decision Making. Офіційний сайт. URL: <http://www.expertchoice.com> (дата звернення 13.05.2019)

14. Decision Lens. Офіційний сайт. URL:<http://www.decisionlens.com> (дата звернення 13.05.2019)
15. СППР "Выбор". Офіційний сайт URL:<http://www.cirtas.ru/> (дата звернення 13.05.2019)
16. MPRIORITY. Офіційний сайт URL:<http://www.tomakechoice.com> (дата звернення 13.05.2019)
17. Голуб Б.М. С#. Концепція та синтаксис. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2006. 136 с.

## ДОДАТОК А

### Програмний код системи

```
using System;  
using System.Collections.Generic;  
using System.Linq;  
using System.Threading.Tasks;  
using System.Windows.Forms;  
  
namespace Saati  
{  
    static class Program  
    {
```