

Технічні науки

УДК 519.916

Компанієць Олег Миколайович

кандидат технічних наук,

начальник науково-дослідної лабораторії льотного факультету

Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба

Компаниец Олег Николаевич

кандидат технических наук,

начальник научно-исследовательской лаборатории,

Харьковский национальный университет

Воздушных Сил имени И. Кожедуба

Kompaniets Oleh

Candidate of Technical Sciences, Chief of Research Laboratory

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

ORCID: 0000-0001-7472-0869

Литвинчук Дмитро Валерійович

науковий співробітник науково-дослідної лабораторії

льотного факультету

Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба

Литвинчук Дмитрий Валерьевич

научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории

летного факультета

Харьковский национальный университет

Воздушных Сил имени И. Кожедуба

Litvinchuk Dmitry

Researcher of the Research Laboratory of the Flight Faculty

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Дубовик Геннадій Валентинович

слухач

Національний університет оборони України імені І. Черняховського

Дубовик Геннадий Валентинович

слушатель

Национальный университет обороны Украины имени И. Черняховского

Dubovik Hennady

Student

Ivan Chernyakhovsky National University of Defense of Ukraine

Гридасов Ілля Юрійович

начальник навчального курсу льотного факультету

Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба

Гридасов Илья Юрьевич

начальник учебного курса лётного факультета

Харьковский национальный университет

Воздушных Сил имени И. Кожедуба

Gridasov Ilya

Training Company Commander of the Flight Faculty

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

МЕТОДИКА ВЕКТОРНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ

ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ ПРОЕКТУ

МЕТОДИКА ВЕКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

ВЫПОЛНЕНИЯ ЭТАПА ПРОЕКТА

METHODOLOGY FOR THE VECTOR ASSESS THE EFFECTIVENESS

OF THE PROJECT STAGE

***Анотація.** Розроблено методику оцінювання ефективності виконання етапів проектів, яка дозволяє у векторній формі за*

комплексним критерієм оцінки ефективності визначити пріоритетність виконання кожного етапу проекту. В основу розробленої методики покладено експертно-аналітичні процедури за методом аналізу ієрархій.

Ключові слова: проект, метод аналізу ієрархій, експертне оцінювання, ефективність.

Аннотация. Разработана методика оценки эффективности выполнения этапов проектов, которая позволяет в векторной форме по комплексному критерию оценки эффективности определить приоритетность выполнения каждого этапа проекта. В основу разработанной методики положены экспертно-аналитические процедуры по методу анализа иерархий.

Ключевые слова: проект, метод анализа иерархий, экспертная оценка, эффективность.

Summary. A methodology for assessing the effectiveness of the implementation of the stages of projects has been developed, which allows in vector form to determine the priority of each stage of the project using the integrated criterion for evaluating the effectiveness. The developed methodology is based on expert analytical procedures using the hierarchy analysis method.

Key words: project, hierarchy analysis method, expert assessment, efficiency.

Постановка задачі. На сьогоднішній день існує багато підходів до оцінювання ефективності технічних систем, які дозволяють побудувати математичні моделі для розрахунку показників ефективності [1]. Етапами проекту є послідовні ступені, що забезпечують досягнення певної мети або кінцевих цілей притаманних галузі досліджень. Відповідно до основних принципів системного аналізу їх потенційна ефективність повинна оцінюватися через вплив на ефективність проекту в цілому. Такого роду

вплив може бути оціненим через оцінку властивостей відповідного проекту.

Критерієм оцінювання ефективності виконання проектів можна обрати комплексний критерій, який представляє собою відношення ефекту від виконання етапів проекту до часових витрат або вартісних витрат. Максимальне значення комплексного критерію свідчитиме про якість виконання проекту в цілому.

Аналіз останніх досліджень. Науково обґрунтованою оцінкою ефективності виконання будь-яких проектів, можуть бути результати порівняння етапів виконання проектів та відповідна оцінка якості проведених заходів. Аналіз даного питання дозволяє зробити висновок, що у певних випадках вихідні дані для розрахунку критерію ефективності проекту можуть бути неповні, або зовсім відсутні якщо проект має інноваційний характер. В якості інструментарію для рішення таких задач можуть бути застосовані евристичні методи, а саме методи на основі експертних оцінок. Вирішення подібних задач з слабкою структуризацією та нечіткою формалізацією можливе із застосуванням відомих у практиці експертних методів, а саме методу аналізу ієрархій (MAI) [2-3]. MAI дозволяє групі фахівців взаємодіяти по відповідній тематиці, модифікувати свої судження і в результаті об'єднувати групові судження у відповідності до визначальних критеріїв, а саме при проведенні попарних порівнянь об'єктів по відношенню до деякої властивості, або властивостей по відношенню до головної мети. Зворотні зв'язки забезпечують шлях до об'єднання групових суджень в раціональне рішення.

MAI являє собою системну процедуру для ієрархічного представлення елементів, суть якого полягає в декомпозиції задачі на більш прості складові частини з подальшою обробкою послідовності суджень особи, яка приймає рішення по парним порівнянням, які виражаються чисельно. MAI достатньо добре зарекомендував себе при

вирішенні слабо структурованих та слабо формалізованих задач, відрізняється простотою і дає добру відповідність інтуїтивним представленням рішення поставленої задачі [4-5].

Принцип, що покладено в основу МАІ, зумовлює послідовну декомпозицію множин цілей з ростом ступеня деталізації до нижчих рівнів. Побудова ієрархії добре погоджується з принципами системного підходу до аналізу задачі і може дати суттєву допомогу в процесі формування та формалізація пріоритетів особи, що приймає рішення. Одним із головних переваг МАІ є те, що вагові коефіцієнти часткових критеріїв призначаються не прямим вольовим методом, а на основі метода попарного порівняння. Друга перевага – структурування проблеми у вигляді складових компонент. Перевагою МАІ є також те, що схема використання методу не залежить від сфери діяльності, в якій приймається рішення [6].

До недоліків цього методу можна віднести труднощі оцінки відношень складних елементів, різке збільшення кількості оцінок зі збільшенням набору елементів. Так, при збільшенні кількості елементів вище дев'яти, спостерігається збільшення значень індексу узгодженості, що суперечить обмеженням, визначеним в МАІ [5-6]. Проте вказані недоліки методу не мають значного впливу на вирішення конкретної задачі по визначенню глобальних пріоритетів визначених альтернатив. Саме тому векторні (представлення у відносних величинах) оцінки отримані за МАІ дозволять з заданим рівнем точності визначити пріоритетні етапи виконання проекту.

Метою статті є розробка методики відносного оцінювання ефективності етапів проекту, для підтримки прийняття рішень при визначенні пріоритетності виконання проекту в цілому, за відсутності чіткої аналітичної вхідної та вихідної інформації про проект.

Основний матеріал. Виконання проекту умовно або нормативно може бути представлено як сукупність етапів проекту, які у адитивній формі мають вигляд як $\sum \text{Етапів}_z = 1$. В якості критерію оцінювання ефективності проекту (етапів проекту) обирається максимум комплексного показника, що описує повне співвідношення ефекту отриманого від виконання проекту до узагальнених витрат часових ресурсів або вартісних. Для подальших розрахунків визначимо витрати часові для оцінки впливу швидкості виконання етапів проекту на виконання проекту в цілому.

Комплексний критерій оцінки ефективності проекту у формалізованому вигляді можна записати наступним чином:

$$\begin{cases} \text{Еф}_z = \frac{\text{Ефект}_z}{\text{Витрати}_z}; \\ \text{Еф}_z \rightarrow \max. \end{cases} \quad (1)$$

де Еф_z – комплексний критерій оцінки ефективності z-ого етапу проекту;

Ефект_z – векторне значення ефекту застосування z-ого етапу проекту;

Витрати_z - векторне значення витрат z-ого етапу проекту.

Пріоритет етапу проекту буде відповідати максимальному значенню комплексного критерію оцінки ефективності.

Підбір експертної групи для проведення оцінювання здійснено у декілька етапів. З метою виявлення і підключення до роботи осіб, що мають достатній рівень знань в даному питанні і здатних найбільш ефективно провести оцінки основних властивостей етапів проектів та визначити їх пріоритети, використано елементи методу «снігового кому (snowball sampling)» [6]. Враховано той факт, що робоча група експертів не повинна бути занадто великою по чисельності, інакше буде достатньо складно досягти узгодженості оцінок. У відповідності до методу

«снігового кому» послідовність дій при підборі експертів полягала у наступних етапах:

- формуванні генеральної групи експертів на основі об'єктивних показників професійної компетентності;
- формуванні пропозицій від генеральної групи експертів щодо розширення складу групи фахівців найбільш компетентних, по їх судженню осіб, яких було б корисно включити до складу робочої групи;
- формування остаточного списку потенційних експертів за фаховою спрямованістю.

Отриману сітку експертів можна вважати генеральною сукупністю фахівців, що компетентні в області проблеми, що досліджується та мають достатню компетентність в галузі предмета експертної оцінки. Використовуючи вище зазначений підхід проходить формування групи у відповідній кількості. Після підбору експертів розроблюється анкета для опитування з метою визначення робочої групи експертів. За відомими методичним підходом обробки результатів опитування експертів [7] визначається робоча група експертів, яка буде приймати участь у проведенні оцінки [7].

Запропонований Т.Л. Сааті МАІ [2,3] зводить дослідження складних систем до послідовного попарного порівняння їх окремих властивостей. МАІ передбачає наступні етапи: побудова ієрархії, формування матриць попарного порівняння (МПП), розрахунок вектору пріоритетів, оцінка ступеню погодженості МПП, аналіз чуттєвості альтернатив.

Етап 1. - Побудова ієрархії полягає у представленні структури складного процесу (узагальненого показника ефективності) у вигляді ієрархічної моделі, що дозволяє структурувати всю повну інформацію у графічному вигляді, а також поділити їх на складові частини та аналізувати їх окремо. Для цього експертами будується ієрархія, що починається з

вершини (мета задачі, що вирішується), через проміжні рівні (критерії, по яким порівнюються елементи наступних рівнів ієрархії) до самого нижнього рівня. Ієрархія, у даному випадку, це деяка абстракція структури системи, що направлена на дослідження функціональних зв'язків її компонент та їх взаємодій на систему в цілому. В якості характеристики ступеню досяжності мети застосовують критерії у вигляді властивостей об'єкту оцінки, які особа, що приймає рішення використовує для оцінки різних альтернатив, де альтернатива - це кожне можливе вирішення задачі. Слід зазначити умову, що всі рішення є взаємовиключні та розглядаються в процесі аналізу [4-5].

Етап 2. - Порівняння елементів ієрархії здійснюється методом попарного порівняння [4,5], сутність якого полягає в тому, що шляхом порівняння в загальному випадку кожного об'єкта із всіма іншими з даної множини визначаються елементи матриці A розмірності $n \times n$, де елемент a_{ij} є відповідне дійсне число, що визначає результат порівняння об'єкта i з об'єктом j відносно деякого їх загального критерію:

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Результати порівняння об'єктів за якісними критеріями виражають в так званій фундаментальній шкалі відношень, достовірність якої доведена теоретично в роботі [2] та представлена в табл. 1:

Для проведення відповідного бінарного порівняння груп властивостей, побудована МПП повинна мати наступні властивості [8]:

- всі елементи матриці A додатні $a_{ij} > 0$ для усіх $i, j = 1 \dots d$;
- матриця A є обернено симетрична: $a_{ij} = 1/a_{ji}$ для усіх $i, j = 1 \dots d$;

- діагональні елементи a_{ij} повинні дорівнювати одиниці, оскільки вони виражають оцінку критерію відносно самих себе;
- матриця A володіє властивістю сумісності, тобто виконується наступна умова $a_{ij} = a_{ih} \cdot a_{hj}$, для усіх i, j, h (в цьому випадку матриця вважається узгодженою);
- число n є максимальним власним значенням матриці A .

Таблиця 1

Шкала відношень для порівняльної оцінки (ступень значимості)

Ступінь важливості	Визначення	Пояснення
1	Рівна важливість	Альтернативи мають однаковий ранг за даними критеріями
3	Помірна перевага одного над другим	Існують судження на користь переваги однієї з альтернатив, однак ці судження не достатньо переконливі
5	Суттєва або сильна перевага одної групи над другим	Мають місце надійні данні або логічні судження для того, щоб показати перевагу однієї з альтернатив
7	Значна перевага	Існують переконливі докази на користь однієї альтернативи над іншою
9	Максимальна перевага	Свідчення на користь переваги однієї альтернативи над іншою у вищій ступені переконання
2,4,6,8	Проміжні рішення між двома сусідніми судженнями	Використовуються у компромісному випадку
Зворотні величини наведених вище чисел	Якщо альтернативі i при порівнянні з альтернативою j надається одне з визначених вище чисел, то альтернативі j при порівнянні з альтернативою i надається зворотне значення.	Використовується в ситуації, коли узгодженість була постульована при отриманні N числових значень для утворення матриці.

У відповідності з вищевикладеними вимогами матриця (2) приймає наступний вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1j} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{j1} & 1/a_{j2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Другий етап проводиться для всіх рівнів ієрархії. В результаті отримуємо МПП критеріїв одного рівня ієрархії між собою, критеріїв нижнього рівня ієрархії відносно критеріїв вищого рівня ієрархії і альтернатив відносно критеріїв.

Етап 3. – Розрахунок вектору пріоритетів.

$$W=(w_1, w_2, \dots, w_i)^T \quad (4)$$

де $w_1 \dots w_i$ – вагові коефіцієнти виділених груп властивостей об'єкту, згідно принципу отримання вектора пріоритетів, основною властивістю якого є умова рівності суми вагових внесків властивостей:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad w_i > 0 \quad (5)$$

де n – порядок матриці.

Для кожної з отриманих матриць формують локальний вектор пріоритетів W , котрий розраховується за методами теорії матриць та методами приблизної оцінки [8]:

$$W = S_{ij} / \sum_{i=1}^n S_{ij}, \quad (6)$$

де S_{ij} – проміжна змінна, яка розраховується за наступним виразом:

$$S_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (7)$$

Наступним кроком, є ієрархічний синтез для отримання власних векторів вагових коефіцієнтів критеріїв і розраховується сума по всім відповідним зваженим компонентам власних векторів рівня ієрархії, що знаходиться нижче [4]. Для визначення вектору глобальних пріоритетів:

$$GW=(W_1, \dots, W_n) \quad (8)$$

В матриці локальні пріоритети, що відповідають кожній альтернативі, помножується на пріоритет відповідного критерію та

результат додається. Після цього відповідні критерії кожної альтернативи порівнюються між собою. Відповідно ефективно доцільна альтернатива має саме високе значення глобального пріоритету.

Етап 4. – Оцінка ступеня погодженості МПП проводиться на кожному етапі експертної оцінки. Для оцінки погодженості суджень використовується відхилення величини максимального власного значення $\lambda_{\max}$ від порядку МПП n . При цьому повинна виконуватися умова $\lambda_{\max} > n$. Значення $\lambda_{\max}$ можна обчислити наближеним методом [7]. Для цього спочатку додається кожний стовпчик МПП, після чого, доданок першого стовпчика помножується на першу компоненту вектора пріоритету, доданок другого – на другу компоненту і тощо. Значення $\lambda_{\max}$ буде дорівнювати додатку отриманих чисел:

$$\lambda_{\max} \approx \sum_{j=1}^n (w_j \sum_{i=1}^n a_{ij}) \quad (9)$$

Погодженість суджень оцінюється індексом погодженості (consistency index - CI) або відношенням погодженості (consistency ratio - CR) у відповідності з наступними виразами:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1} \quad (10)$$

$$CR = \frac{CI}{M(CI)} \quad (11)$$

де $M(CI)$ – математичне очікування значення індексу погодженості CI випадковим шляхом складеної МПП у фундаментальній шкалі, значення якого представлено в табл. 2

Припустимими вважаються значення відношення погодженості $CR \leq 0,10$, але в деяких випадках допускається $CR \leq 0,20$ [4-6]. Якщо для МПП відношення погодженості $CR > 0,20$, то це свідчить про суттєве

порушення логічності суджень експерта при заповненні матриці. У цьому випадку експерту пропонується переглянути данні.

Таблиця 2

**Значення математичного очікування СІ випадковим шляхом
складеною МПП**

Розмір матриці (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випадкова погодженість M(CI)	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Далі проводиться оцінка погодженості усієї ієрархії за допомогою додавання показників однорідності усіх рівнів, приведених шляхом «важення» до першого рівня ієрархії, де знаходиться мета. Відношення погодженості для всієї ієрархії визначається за виразом (11).

Етап 5. – Аналіз чуттєвості альтернатив. Засоби аналізу чуттєвості представляють можливість тестувати результат рішення від зміни вихідних даних [4].

Врахування групового судження експертів для підвищення ступеня об'єктивності отриманих результатів здійснюється за допомогою розрахунку показника середньо геометричної оцінки учасників опитування [3; 5]:

$$g_{ij}^A = \left(a_{ij}^1 \cdot a_{ij}^2 \cdot \dots \cdot a_{ij}^k \right)^{\frac{1}{k}}, \quad (12)$$

де g_{ij}^A – агрегована групова оцінка, що належить і-ому рядку та j-ому стовпчику МПП;

k – кількість МПП, кожна з котрих складена одним експертом.

Агрегування суджень експертів здійснюється також за допомогою власних векторів МПП. При цьому результати будуть еквівалентні тим, що

отримані на рівні елементів матриць, якщо однорідність складених матриць достатня і задовольняє умові $CR \leq 0,20$.

В експертній оцінці за МАІ передбачені засоби оцінки ступеня узгодженості суджень, проведення аналізу чуттєвості альтернатив, використання відносно простого математичного апарату та залучення для участі різних фахівців напрому, який досліджується. Таким чином, визначені етапи МАІ, дозволять науково-обґрунтовано визначити в векторній формі ефективність етапів виконання проекту.

На основі аналізу виконання відповідних проектів необхідно визначити властивості $\{K_1, \dots, K_n\}$ які суттєво впливають на проект та які можна обрати у якості показників, де n – кількість властивостей.

Метою «Goal» (Ефект) є ранжування етапів проекту та визначення оптимального етапу з числа альтернатив $\{P_1, \dots, P_z\}$, де z - кількість етапів проекту.

Отримання інтегральної оцінки ефективності укриття здійснюється шляхом оцінювання внеску кожної з визначених властивостей $\{K_1, \dots, K_n\}$ в узагальнену оцінку ефективності його функціонування. Ієрархія представлена на рис. 1.

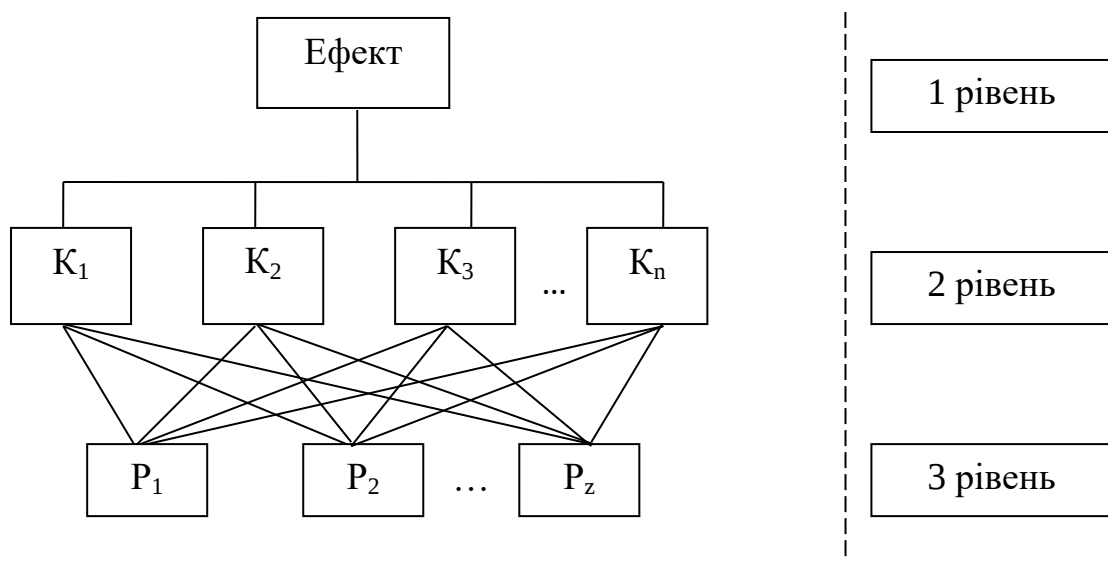


Рис. 1. Ієрархія визначення ефективності виконання проекту

Побудова МПП критеріїв одного рівня ієрархії між собою та альтернатив відносно критеріїв здійснювався експертами, відповідно до розрахованого групового судження (12). Результати порівняння об'єктів зводяться до відповідних таблиць [2, 4-6]. Для усіх МПП визначається оцінка локального вектору пріоритету за виразом (6), максимальне власне значення (9), індекс погодженості (10) та відношення погодженості (11).

За аналогічною процедурою МАІ необхідно провести оцінку часових витрат у векторному вигляді. Для оцінки часових витрат ефективності виконання етапів проекту щодо подальшого визначення ефективності виконання проекту необхідно провести порівняння чинників та отримано векторні значення витрат часу, як самих етапів так і переваг під час виконання.

Метою «Goal» (Витрати) є визначення пріоритету у векторній формі найменших часових витрат від виконання етапів проекту: $\{P_1, \dots, P_z\}$. Отримання інтегральної оцінки часового ефекту етапів проекту шляхом оцінювання внеску кожної з визначених груп $\{X_1, \dots, X_m\}$ витрат в узагальнену оцінку витрат в цілому. Ієрархія представлена на рис. 2.

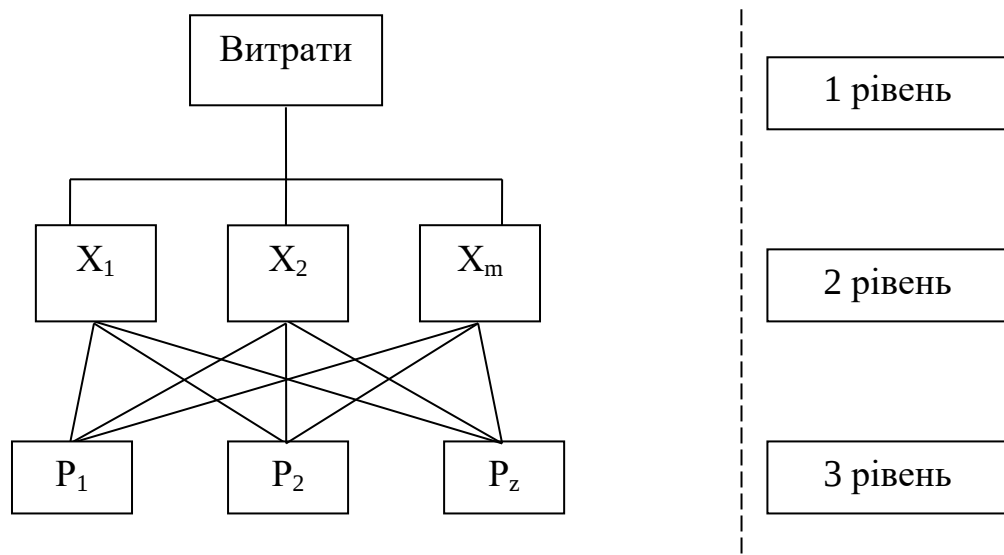


Рис. 2. Ієрархія визначення витрат на проект

Результати порівняння об'єктів заводиться до відповідних таблиць. Для усіх МПП визначено оцінку локального вектору пріоритету за виразом

(6), максимальне власне значення (9), індекс погодженості (10) та відношення погодженості (11).

Оцінюються глобальні вектори пріоритетів для кожного етапу проектів. У разі вартісних оцінок необхідно врахувати зворотні значення глобальних векторів пріоритетів. Тоді, $GW=(P_1^{-1}; \dots; P_z^{-1})$.

Завершальним етапом є розрахунок комплексного критерію (1) для відповідного етапу та їх порівняння з подальшим визначенням пріоритетності виконання кожного етапу проекту.

Висновок. Визначені експертним оцінюванням результати за методом аналізу ієрархій у векторній формі дозволять за комплексним критерієм ефективності сформулювати рекомендації стосовно оцінки етапів проекту шляхом їх порівняння. Розроблена методика векторного оцінювання ефективності етапів проекту дозволить науково-обґрунтовано визначити шляхи підвищення якості виконання проекту при відсутності чіткої аналітичної вхідної та вихідної інформації.

Література

1. Уткин В. Ф. Эффективность технических систем / В. Ф. Уткин, Ю. В. Крючков. М. : Машиностроение, 1988. 328 с. (Надежность и эффективность в технике: Справочник; т. 3.).
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Томас Саати. М. : Радио и связь, 1993. 314 с.
3. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Томас Саати. М. : Изд-во ЛКИ, 2008. 360 с.
4. Короблев Н. М. Согласование и коррекция экспертных оценок в системах поддержки принятия решений в условиях нечеткой исходной информации / Н. М. Короблев, С. Г. Удовенко, Ельзин Фирас // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. 2005. № 2. С. 116-120.

5. Дубровин В. И. Многокритериальная оптимизация технологического процесса с использованием метода анализа иерархий / В. И. Дубровин, Н. А. Миронова, В. А. Конопля // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. 2005. № 2. С. 47–53.
6. Леонтьев О.Б. Визначення вагового внеску основних груп властивостей ударного авіаційного комплексу в узагальнений показник бойової ефективності шляхом експертного оцінювання / О.Б. Леонтьев, Д. А. Гриб, Є. О. Українець, О. М. Компанієць // Збірник наукових праць ХУПС. 2009. Вип. 3 (21). С. 5-10.
7. Арсеньев Ю.Н. Принятие решений. Интегрированные интеллектуальные системы / Ю. Н. Арсеньев, С. И. Шелобаев, Т. Ю. Давыдов. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 270 с.
8. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц / Гантмахер Ф. Р. М. : Наука, 1966. 656 с.