

В. Ю. Серебрянникова

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

## РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗСТАНОВКИ ПРІОРИТЕТІВ СИНТЕЗОВАНИХ ВАРІАНТІВ РІШЕНЬ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПУ БУДІВНИЦТВА (МОДЕРНІЗАЦІЇ) ПОВІТРЯНОГО СУДНА

**Анотація.** В роботі розроблено метод розстановки пріоритетів синтезованих варіантів рішень для обґрунтування типу будівництва (модернізації) повітряного судна. Розроблений метод базується на удосконаленому методі аналізу ієрархій, в якому обробляються не тільки точкові, а і нечіткі оцінки експертів. Використання удосконаленого методу аналізу ієрархій дозволяє враховувати ризики, можливості, витрати й очікуваний ефект вибору того чи іншого типу модернізації (будівництва) повітряного судна. Метод дозволяє розв'язувати задачі системного багатокритеріального розпізнавання, класифікації та ранжування слабо прогнозованих ситуацій, які є характерними при створенні й експлуатації модифікацій базових літаків. Перевагою методу є простота вибору експертів, які можуть оперувати при виставлянні оцінок термами природної мови.

**Ключові слова:** модифікація, повітряне судно, транспортна категорія, авіабудування, пасажирський літак, транспортний літак, авіаційна техніка, модернізація.

### Вступ

Виробники літаків та авіакомпанії, що їх експлуатують на ринку перевезень пасажирів і вантажів, функціонують у складних постійно змінюваних умовах. Оперативно реагувати на деякі зміни учасникам авіаційного бізнесу дозволяє створення й експлуатація модифікацій базових літаків.

Базовим літаком називають нову модель або новий тип, на основі якого розробляється одна модифікація або їх сімейство.

При створенні базового літака нової моделі, на відміну від модифікації, реалізується велика кількість нововведень, що призводить до вищої технічної досконалості, нового рівня техніки. У модифікації лише повторюються самі нововведення, без зміни рівня досконалості шляхом часткового вдосконалення, сфери застосування, цільового призначення або підвищення продуктивності. Модифікації створюються для отримання максимального прибутку літакобудівною галуззю шляхом задоволення попиту (потреби) ринку авіаперевезень за мінімальних витрат на проектування та виробництво.

Мета придбання модифікацій експлуатуючими компаніями – отримання максимального прибутку шляхом насичення ринку авіаперевезень пасажирів та вантажів за мінімальних експлуатаційних витрат.

Технічно вдосконалені модифікації повітряних суден (ПС) відрізняються від базового зміними, що не впливають на його економічну ефективність (підвищення надійності та безпеки різних систем обладнання і пристроїв забезпечення комфорту).

Економічно вдосконаленими є модифікації, в яких за результатами видозмін підвищується економічна ефективність. Проте всі модифікації здійснюються технічними засобами з метою зниження витрат (вартості виконання функцій модифікації) – економічний аспект.

Поділ на технічні та економічні модифікації доцільно замінити на однофакторні і багатфакторні (комплексні). Їх декомпозицією є доповнена множина модифікацій.

Залежно від зміни призначення літака розрізняють однорідні (зі збереженням призначення) та змішані модифікації. В свою чергу модифікації бувають частковими та комплексними.

Класифікація за виробничою ознакою передбачає розподіл модифікацій на дві основні групи – малі та глибокі модифікації, що відрізняються об'єктом конструктивних вимірювань.

Враховуючи різноманіття класифікацій модифікацій ПС, виникає необхідність в удосконаленні методу розстановки пріоритетів синтезованих варіантів рішень для обґрунтування типу будівництва (модернізації) ПС.

**Метою статті** є розробка методу розстановки пріоритетів синтезованих варіантів рішень для обґрунтування типу будівництва (модернізації) ПС.

**Аналіз літературних джерел.** Актуальність теми будівництва та модернізації повітряних суден зумовлена, в першу чергу, потребою всебічного обґрунтування впровадження модифікації конкретної моделі літака з метою економії коштів на етапі будівництва та поліпшення технічних характеристик. Це досягається автоматизацією процесу системного багатокритеріального розпізнавання, класифікацією та ранжуванням слабо прогнозованих ситуацій при обґрунтуванні типу будівництва (модернізації) ПС, послідовною оцінкою показників кожного альтернативного варіанта рішення.

Вартість розробки базового літака у 3...7 разів більша за вартість розробки модифікації. Отже, модифікації є однією з економічно ефективних форм розвитку авіаційної галузі, що стримує прогресуючу вартість літака і терміни впровадження інновацій. У теперішній час даний підхід фактично є єдиним способом активної присутності на регіональних і світовому ринках продажів авіаційної техніки в умовах сьогоденних економічних реалій.

Поява модифікацій відображає об'єктивні зміни у системі повітряного транспорту: зростання об'єму перевезень і щільності пасажирського потоку, поява нових ліній, необхідність у спеціалізації повітряних суден.

Як наслідок, питанню обґрунтування типу будівництва (модернізації) повітряного судна та його елементів присвячена низка робіт закордонних та вітчизняних авторів.

У статті [1] доведено актуальність розробки нових засобів ураження, забезпечення захисту літаків від сучасних засобів ураження ворога та модернізації авіоніки. Наведена низка аргументів на необхідність модернізації бойових літаків (МиГ-29 та Су-27 українських Повітряних Сил).

У роботі [2] наведено низку актуальних для України прикладів модернізації в КНР, з огляду на реалії вітчизняної економіки та загальних тенденції сучасного глобалізованого світу та ключових напрямків стратегії модернізації України.

У [3] запропонована узгоджена модель економічної доцільності модифікацій літальних апаратів, котра дозволяє ефективно вирішувати питання вартості, а саме економії при проектуванні та подальшому запуску в масове виробництво та експлуатацію літаків.

У статті [4] проаналізований досягнутий рівень модернізації літака третього покоління МиГ-21. Визначені можливості нової авіоніки та контейнерів, що підвищуються, щодо застосування високоточної зброї, розвідки та застосування завад.

Метод аналізу ієрархій має безліч варіантів та широко застосовується для вирішення завдань, пов'язаних із прийняттям рішень у різних сферах людської діяльності.

В роботі [5] запропоновано метод, що базується на нечіткій аналітичній ієрархії, спрямований на ефективне рішення проблеми усунення невизначеності та неточності в оцінці конкурентоспроможності авіакомпаній.

В роботі [6] обґрунтовано доцільність проведення інтеграції та розвитку технічних об'єктів, зокрема для військової авіації. В роботі розроблена концепція модернізації військової техніки (військового літака).

В роботі [7] розглянуто питання розробки та удосконалення нормативно-правової бази врегулювання питання розвитку промисловості виробництва безпілотних літальних апаратів, етапів проектування, розробки та модернізації.

Книга [8] присвячена розгляду проблемних питань та шляхів модернізації озброєння та воєнної техніки. Доведена важливість етапу модернізації озброєння, наведені показники, що впливають на ефективність та економічну практичність.

### Основний матеріал

Для прийнятті рішення щодо обґрунтування типу будівництва (модернізації) повітряного судна в умовах концептуальної невизначеності у роботі за базовий прийнято метод аналізу ієрархій [9].

Метод аналізу ієрархій є систематичною процедурою для ієрархічного подання елементів. При декомпозиції проблеми на складові виявляється відносний ступінь взаємодії елементів в ієрархії. Для обробки послідовності суджень осіб, що приймають рішення (ОПР), і їх чисельного вираження застосовується метод парних порівнянь.

Метод аналізу ієрархій містить процедури синтезу множинних суджень, отримання пріоритетності критеріїв та знаходження альтернативних рішень. Отримані значення є оцінками у шкалі відносин.

На практиці вирішення будь-якого завдання є процесом поетапного встановлення пріоритетів. Результати попереднього кроку використовуються як вхідні дані для вирішення наступного етапу. Фактично мова йде про реалізацію десизіонального аспекту знань у процесі вироблення рішень.

Характер зміни складових ознак області застосування повітряного судна, способів реалізації складових ознаки та комплексу засобів його реалізації наведено у табл. 1.

Способи та комплекси засобів реалізації складових ознаки зміни льотно-технічних характеристик повітряного судна наведені в табл. 2.

Способи та комплекси засобів реалізації складових ознаки ступеня технічної досконалості виконання повітряного судна наведені в табл. 3.

Способи та комплекси засобів реалізації складових ознаки підвищення економічної ефективності модифікацій повітряного судна наведено в табл. 4.

Метод поєднує сценарний підхід до оцінювання елементів системи й експертне оцінювання.

Він дозволяє розв'язувати задачі багатокритеріального системного розпізнавання, класифікації та ранжування слабо прогнозованих ситуацій, коли для прийняття рішень використовують лише суб'єктивні оцінки.

Удосконалений метод працює не тільки з точковими оцінками експертів, але і з нечіткими відносинами переваг на множині факторів. Тоді у загальну структуру прийняття рішень можна інтегрувати оцінювання не прогнозованих ситуацій при обґрунтуванні типу будівництва (модернізації) ПС й оцінювання показників кожного альтернативного варіанта рішення.

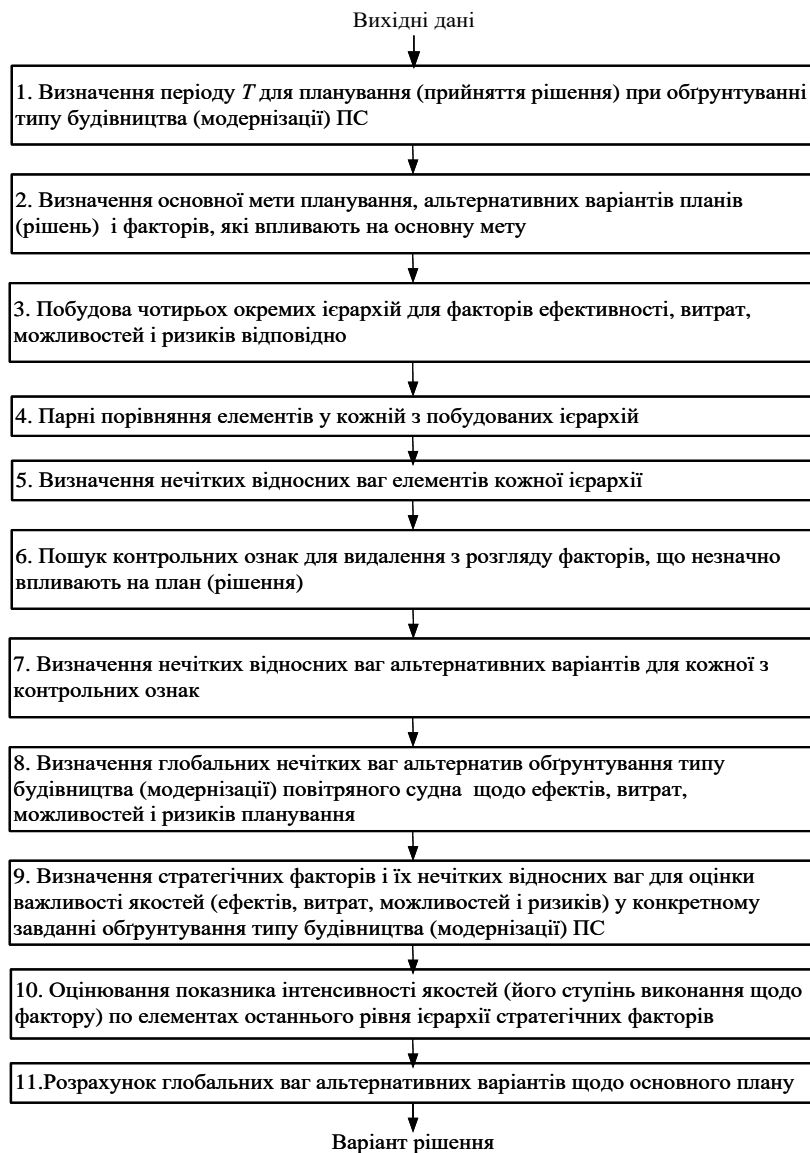
Наведемо послідовність етапів удосконаленого методу розстановки пріоритетів синтезованих варіантів рішень для обґрунтування типу будівництва (модернізації) повітряного судна (рис. 1).

Етап 1. Визначається період  $T$  для прийняття рішення. Він обумовлений як об'єктивними факторами необхідності прийняття рішення до настання деякого критичного моменту (часу планування), так і суб'єктивною оцінкою ОПР, яка відповідає рівню інформованості про процес проектування та будівництва повітряних суден. Спостереження процесу прийняття рішення в часі складається при необхідності перегляду ієрархічних структур щодо критеріїв формування системи протягом встановленого часового ресурсу  $T$ .

Етап 2. На цьому етапі визначаються: основна мета планування (прийняття рішення) при обґрунтуванні типу будівництва (модернізації) ПС  $G = \{g\}$ ,

альтернативні варіанти планів (рішень)  $A^t = \{A_i^t | i \in [1; N_a^t]\}$

фактори  $F^t = \{F_i^t | i \in [1; N_f^t]\}$ , які впливають на основну мету для реального моменту часу  $T_t \in T$ .



**Рис. 1.** Структура удосконаленого методу розстановки пріоритетів синтезованих варіантів рішень для обґрунтування типу будівництва (модернізації) повітряного судна

**Таблиця 1 – Характер зміни складових ознак області застосування повітряного судна, способів реалізації складових ознаки та комплексу засобів його реалізації**

Номер коду, найменування складової ознаки	Характер зміни складової ознаки	Спосіб реалізації зміни складової ознаки	Комплекс засобів реалізації способу зміни складової ознаки
1 – ПС місцевих ліній (МЛ)	1. (МЛ)→(БМ) 1→2	1 – зміна потужності СУ	1 – збільшення потужності СУ (заміна СУ) (N <sub>дв</sub> ↑)
2 – ближньо-магістральне ПС (БМ)	2. (БМ)→(МЛ) 2→1	1 – зміна потужності СУ 2 – зміна польотної маси	1 – зниження потужності СУ (заміна СУ) (N <sub>дв</sub> ↓) 2 – зниження польотної маси шляхом зменшення класу вантажомісткості (n <sub>пм</sub> ↓)
3- середньо-магістральне ПС (СМ)	3. (БМ)→(СМ) 2→3	1 – зміна потужності СУ 2 – зміна польотної маси 3 – зміна аеродинаміки	1 – збільшення потужності СУ (заміна СУ) (N <sub>дв</sub> ↑) 2 – зниження польотної маси шляхом зменшення класу вантажомісткості (n <sub>пм</sub> ↓) 3 – зниження профільного аеродинамічного опору (заміна крила) (C <sub>x</sub> ↓)
4 – далеко-магістральне ПС (ДМ)	4. (СМ)→(ДМ) 3→4	те саме	те саме
	5. (СМ)→(БМ) 3→2	1 – зміна потужності СУ 2 – зміна польотної маси	1 – зниження потужності СУ (заміна СУ) (N <sub>дв</sub> ↓) 2 – збільшення польотної маси шляхом збільшення класу вантажомісткості (n <sub>пм</sub> ↑)
	6. (ДМ)→(СМ) 4→3	1 – зміна потужності СУ 2 – зміна польотної маси	те саме

Таблиця 2 – Способи та комплекси засобів реалізації складових ознаки зміни льотно-технічних характеристик повітряного судна

№ п/п	Найменування складових ознаки	Спосіб зміни складових ознак	Комплекс засобів реалізації складових ознаки
1	Зміна максимальної швидкості польоту $V_{\max}$	1 – збільшення $V_{\max}$	1 – заміна двигуна на потужніший ( $N_{\text{дв}} \uparrow$ ) 2 – зниження пасажиро-вантажомісткості ( $n_{\text{пм}} \downarrow$ ) 3 – зниження профільного опору ( $C_x \downarrow$ )
		2 – зниження $V_{\max}$	4 – заміна двигуна на менш потужний ( $N_{\text{дв}} \downarrow$ ) 5 – збільшення пасажиро-вантажомісткості ( $n_{\text{пм}} \uparrow$ )
2	Зміна крейсерської швидкості $V_{\text{крейс}}$	3 – збільшення $V_{\text{крейс}}$	1 – заміна двигуна на потужніший ( $N_{\text{дв}} \uparrow$ ) 2 – зниження пасажиро-вантажомісткості ( $n_{\text{пм}} \downarrow$ ) 3 – зниження профільного опору ( $C_x \downarrow$ )
		4 – зниження $V_{\text{крейс}}$	4 – заміна двигуна на менш потужний ( $N_{\text{дв}} \downarrow$ ) 5 – збільшення пасажиро-вантажомісткості ( $n_{\text{пм}} \uparrow$ )
3	Зміна максимальної дальності польоту $L_{\max}$	5 – збільшення $L_{\max}$	1 – заміна двигуна на потужніший ( $N_{\text{дв}} \uparrow$ ) 2 – зниження пасажиро-вантажомісткості ( $n_{\text{пм}} \downarrow$ ) 3 – зниження профільного опору ( $C_x \downarrow$ )
4	Зміна статичної стелі $H_{\text{стат}}$	6 – збільшення $H_{\text{стат}}$	те саме
5	Зміна скоропідйомності $V_{y \max}$	7 – збільшення $V_{y \max}$	3 – зниження профільного опору ( $C_x \downarrow$ )
6	Зміна радіуса віражу $r_{\text{вир}}$	8 – зменшення $r_{\text{вир}}$	1 – заміна двигуна на потужніший ( $N_{\text{дв}} \uparrow$ )
7	Зміна довжини розбігу перед зльотом $L_{\text{розб}}$	9 – зменшення $L_{\text{розб}}$	1 – заміна двигуна на потужніший ( $N_{\text{дв}} \uparrow$ ) 2 – зниження пасажиро-вантажомісткості ( $n_{\text{пм}} \downarrow$ ) 3 – зниження профільного опору ( $C_x \downarrow$ )
8	Зміна довжини ЗПС $L_{\text{ЗПС}}$	10 – зменшення $L_{\text{ЗПС}}$	те саме

Таблиця 3 – Способи та комплекси засобів реалізації складових ознаки ступеня технічної досконалості виконання повітряного судна

№ п/п	Найменування складових ознаки	Спосіб реалізації складових ознак	Комплекс засобів реалізації складових ознаки
1	Надійність ступеня технічної досконалості систем обладнання	1 – підвищення безвідмовності систем обладнання	1 – конструктивно-технологічне доведення систем обладнання у процесі виробництва й експлуатації ПС 2 – використання систем обладнання, що забезпечують нормоване значення коефіцієнтів ОТ
		2 – підвищення ремонтпридатності систем обладнання	1 – удосконалення комплексу засобів ремонтпридатності обладнання
		3 – підвищення довговічності систем обладнання	1 – розробка засобів підвищення довговічності систем обладнання в експлуатації ПС
		4 – підвищення зберігання систем обладнання	1 – впровадження засобів підвищення зберігання систем обладнання ПС в експлуатації
2	Системи забезпечення безпеки ПС	1 – підвищення безпеки ПС конструктивними заходами	1 – конструктивно-технологічні комплекси засобів підвищення безпеки ПС
		2 – підвищення безпеки ПС експлуатаційними заходами	1 – експлуатаційні комплекси засобів підвищення безпеки ПС
3	Пристрої забезпечення комфорту в салонах ПС	1 – підвищення комфорту в салонах ПС конструктивними заходами та способами	1 – конструктивні комплекси засобів підвищення комфорту у салонах ПС
		2 – підвищення комфорту експлуатаційними заходами	1 – комплекс засобів підвищення рівня сервісу у польоті ПС
4	Експлуатабельність ПС	1 – удосконалення вантажно-розвантажувальних способів експлуатаційного обладнання та заходів	1 – комплекси засобів забезпечення вдосконалення обладнання та пристроїв при завантаженні та вивантаженні пасажирів та багажу конструктивно-технологічними рішеннями

Таблиця 4 – Способи та комплекси засобів реалізації складових ознаки підвищення економічної ефективності модифікацій повітряного судна

№ п/п	Найменування складових ознаки	Спосіб реалізації складових ознак	Комплекс засобів реалізації методу
1	Пасажиромісткість салонів ПС	1 – збільшення пасажиромісткості ПС 2 – зменшення пасажиромісткості ПС	1 – комплекс засобів, що забезпечують перекомпонування салону зі зміною відстані між кріслами та класності крісел 2 – комплекс засобів зменшення кількості паса-жирів, підвищення класності салонів до VIP-рівня
2	Вантажопідйомність ПС	1 – збільшення об'єму салону ПС	1 – комплекс засобів, що забезпечують збільшення довжини фюзеляжу або його ширини
3	Продуктивність реалізації	1 – збільшення продуктивності ПС	1 – комплекс засобів збільшення продуктивності зміною умов експлуатації ПС; 2 – заміна двигунів більш економічними
4	Ресурс ПС	1 – збільшення ресурсу планера ПС	1 – комплекс засобів збільшення ресурсу шляхом застосування ефективних конструктивно-технологічних рішень вузлів, з'єднань та заміни конструкційних матеріалів з високою втомною міцністю
5	Зниження витрати пального	1 – забезпечення зниження витрати палива вдосконаленням двигуна і силової установки ПС	1 – комплекс засобів зниження витрати палива заміною двигуна 2 – комплекс засобів, що забезпечують зниження аеродинамічного опору ПС

Елементи останніх рівнів ієрархій (ефектів, витрат, можливостей і ризику) плану, які характеризуються значимими відносними вагами, стають контрольними ознаками. Для їх пошуку і виділення встановлюється поріг значимості ваг. Якщо вага елемента перевищує поріг, то він є контрольною ознакою, в іншому випадку – ні. Це дозволяє видалити з розгляду ті фактори, що незначно впливають на план (рішення).

Етап 3. Проводиться класифікація  $F^\tau$  на чотири групи факторів:

–  $F_B^\tau$ , які визначають ефективність від реалізації плану (рішення)  $F_B^\tau = \{F_{B_j}^\tau | j \in [1; N_B^\tau]\}$ ;

–  $F_C^\tau$ , які визначають витрати для реалізації плану (рішення)  $F_C^\tau = \{F_{C_j}^\tau | j \in [1; N_C^\tau]\}$ ;

–  $F_O^\tau$ , які визначають невизначені можливості, що можуть виникнути в результаті реалізації плану (рішення)  $F_O^\tau = \{F_{O_j}^\tau | j \in [1; N_O^\tau]\}$ ;

–  $F_R^\tau$ , які визначають ризики, що впливають на процес і результат реалізації плану (рішення)

$$F_R^\tau = \{F_{R_j}^\tau | j \in [1; N_R^\tau]\}.$$

За результатами будуються чотири окремі ієрархії для факторів ефективності, витрат, можливостей і ризиків –  $H_B^\tau, H_C^\tau, H_O^\tau, H_R^\tau$ , відповідно. Фактори  $F_B^\tau, F_C^\tau, F_O^\tau, F_R^\tau$  розглянутих якостей створюють перші рівні ієрархій. Ознаки, які характеризують перераховані вище фактори, синтезують наступні рівні відповідних ієрархій.  $p_B^\tau, p_C^\tau, p_O^\tau, p_R^\tau$  – кількість рівнів в ієрархії ефективності, витрат, можливостей і ризиків відповідно, а  $N_{B_k}^\tau, N_{C_k}^\tau, N_{O_k}^\tau, N_{R_k}^\tau \in \mathbb{N}$  – кількість елементів  $k$ -го рівня ієрархії ефектів, витрат, можливостей і ризиків відповідно.

Етап 4. Виробляються парні порівняння елементів у кожній з побудованих ієрархій. Експерти дають оцінки у вигляді нечітких відносин переваг, коли оперують не числами, а природними термінами мови: "більше", "менше", "гірше", "набагато гірше", "краще", "набагато краще".

Етап 5. На даному етапі методу визначаються нечіткі відносні ваги елементів кожної ієрархії.

$$w_{R_k}^\tau = w_{R_{kj}}^\tau | j \in [1; N_{R_k}^\tau] \text{ – вектор ваг елементів}$$

$k$ -го рівня ієрархії ризиків будівництва (модернізації) повітряного судна в момент часу  $T_\tau \in T$ ,

$$w_{C_k}^\tau = w_{C_{kj}}^\tau | j \in [1; N_{C_k}^\tau], \quad w_{B_k}^\tau = w_{B_{kj}}^\tau | j \in [1; N_{B_k}^\tau],$$

$$w_{O_k}^\tau = w_{O_{kj}}^\tau | j \in [1; N_{O_k}^\tau] \text{ – вектори ваг елементів } k \text{-го рівня для ієрархій ефектів, витрат і можливостей}$$

системи відповідно. Вектори ваг є нечіткими і можуть бути розраховані з використанням методів обробки нечіткої експертної інформації в методі аналізу ієрархій, досить повно і докладно описаних у дослідженнях.

Етап 6. Елементи останніх рівнів ієрархій (ефектів, витрат, можливостей і ризику) плану, які характеризуються значимими відносними вагами, стають контрольними ознаками. Для їх пошуку і виділення

встановлюється поріг значимості ваг. Якщо вага елемента перевищує поріг, то він є контрольною ознакою, в іншому випадку – ні. Це дозволяє видалити з розгляду ті фактори, що незначно впливають на план (рішення). Контрольні ознаки в момент часу  $T_\tau \in T$  мають вигляд:  $e_R^\tau = \{e_{R_j}^\tau | j \in [1; N_R^{contr}]\}$ ,  $e_B^\tau = \{e_{B_j}^\tau | j \in [1; N_B^{contr}]\}$ ,  $e_O^\tau = \{e_{O_j}^\tau | j \in [1; N_O^{contr}]\}$ ,  $e_C^\tau = \{e_{C_j}^\tau | j \in [1; N_C^{contr}]\}$  для ризиків, ефектів, можливостей і витрат відповідно.

Етап 7. Визначаються нечіткі відносні ваги альтернативних варіантів для кожної з контрольних ознак:

– будується адитивна згортка  $N^{contr, \tau} = N_B^{contr, \tau} + N_C^{contr, \tau} + N_O^{contr, \tau} + N_R^{contr, \tau}$  ієрархій, вершинами яких є контрольні ознаки ефектів, витрат, можливостей і ризиків. Останні рівні ієрархій формують альтернативні варіанти плану (рішення) на обґрунтування типу будівництва (модернізації) ПС  $A^\tau = \{A_i^\tau | i \in [1; N_\alpha^\tau]\}$

– експерти дають нечіткі оцінки парних порівнянь елементів ієрархій;

– розраховуються нечіткі відносні ваги альтернатив обґрунтування типу будівництва ПС за контрольними ознаками ризиків планування створення системи:  $w_{R_i}^{alt, \tau} = w_{R_i}^{alt, contr, \tau} | i \in [1, N_\alpha^\tau]$ , де

$$w_{R_i}^{alt, contr, \tau} = w_{R_{ij}}^{alt, contr, \tau} | j \in [1; N_R^{contr, \tau}].$$

$$\text{Аналогічно } w_{B_i}^{alt, \tau} = w_{B_i}^{alt, contr, \tau} | i \in [1, N_\alpha^\tau],$$

$$w_{C_i}^{alt, \tau} = w_{C_i}^{alt, contr, \tau} | i \in [1, N_\alpha^\tau],$$

$$w_{O_i}^{alt, \tau} = w_{O_i}^{alt, contr, \tau} | i \in [1, N_\alpha^\tau] \text{ – нечіткі відносні}$$

ваги альтернатив по контрольних ознаках ефектів, витрат і можливостей. Для отримання ваг  $w_{B_i}^{alt, contr, \tau}$ ,

$$w_{C_i}^{alt, contr, \tau}, \quad w_{O_i}^{alt, contr, \tau}, \quad w_{R_i}^{alt, contr, \tau} \text{ (локальних ваг),}$$

$$i \in [1, N_\alpha^\tau], \quad j_B \in [1; N_B^{contr, \tau}], \quad j_C \in [1; N_C^{contr, \tau}],$$

$j_O \in [1; N_O^{contr, \tau}]$  обробляється нечітка експертна інформація на базі методу аналізу ієрархій [47].

Етап 8. Визначаються глобальні нечіткі ваги альтернатив обґрунтування типу будівництва (модернізації) повітряного судна:  $w_B^{alt, \tau}$ ,  $w_C^{alt, \tau}$ ,  $w_O^{alt, \tau}$ ,  $w_R^{alt, \tau}$  щодо ефектів, витрат, можливостей і ризиків планування шляхом проведення агрегування (об'єднання), знайдених на етапі 7 нечітких відносних ваг альтернатив по контрольних ознаках ефектів, витрат, ризиків і можливостей. У роботі Т. Саати пропонується використовувати відношення ефектів до витрат як один з методів адитивного синтезу.

Етап 9. Визначаються стратегічні фактори і їх нечіткі відносні ваги. Стратегічні фактори використовуються для оцінки важливості якостей (ефектів, витрат, можливостей і ризиків) у конкретному завданні обґрунтування типу будівництва (модернізації) ПС. Для цього:

– будується ієрархія стратегічних факторів;  
 – експерт дає нечітку оцінку парних порівнянь елементів ієрархії;  
 – обчислюються нечіткі ваги стратегічних факторів шляхом обробки нечіткої експертної інформації на базі методу аналізу ієрархій.

Етап 10. Оцінюється показник інтенсивності якостей (його ступінь виконання щодо фактору) по елементах останнього рівня ієрархії стратегічних факторів.

Етап 11. Проводиться розрахунок глобальних ваг альтернативних варіантів щодо основного плану.

Нехай у результаті обчислень отримано сімейство спільно здійснюваних планів. При виборі плану модернізації ПС оцінюють його якість за критерієм «вартість-ефективність». На основі методу аналізу ієрархій будуються дві ієрархії: для витрат і вигод з одними й тими самими альтернативами на нижньому рівні. Отримавши вектори пріоритетів доходів і витрат, обчислюють відношення доходів до витрат кожної альтернативи. Отримані результати використовують для маржинального аналізу.

Найкращою є альтернатива з найвищим загальним пріоритетом витрат. Це пояснюється тим, що при порівнянні двох чи більше альтернатив не важливі абсолютні значення відповідних вигод і витрат. Представляються найважливішими їх відносні значення, тобто порівнюються прирости вигод з приростами витрат.

Таким чином, удосконалено метод розстановки пріоритетів синтезованих варіантів рішень для обґрунтування типу будівництва (модернізації) повіт-

ряного судна, який, на відміну від відомих, базується на удосконаленому методі аналізу ієрархій, в якому обробляються не тільки точкові, а і нечіткі оцінки експертів, та враховує ризики, можливості, витрати й ефекти, що дозволяє розв'язувати задачі системного багатокритеріального розпізнавання, класифікації та ранжування слабо прогнозованих ситуацій при обґрунтуванні типу будівництва (модернізації) ПС й оцінювати показники кожного альтернативного варіанта рішення.

Отже, запропонований метод має ряд переваг:

– простота вибору експертів, які можуть оперувати при виставлянні оцінок термами природної мови;

– урахування ризиків, можливостей, витрат і ефектів при обґрунтуванні типу будівництва (модернізації) повітряного судна.

### Висновки

В статті удосконалено метод розстановки пріоритетів синтезованих варіантів рішень для обґрунтування типу будівництва (модернізації) повітряного судна, який, на відміну від відомих, базується на удосконаленому методі аналізу ієрархій, в якому обробляються не тільки точкові, а і нечіткі оцінки експертів, та враховує ризики, можливості, витрати й ефекти, що дозволяє розв'язувати задачі системного багатокритеріального розпізнавання, класифікації та ранжування слабо прогнозованих ситуацій при обґрунтуванні типу будівництва (модернізації) ПС й оцінювати показники кожного альтернативного варіанта рішення.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Модернізація літаків Повітряних Сил: курс на повне оновлення авіоніки. – URL: <https://armyinform.com.ua/2020/09/08/modernizacziya-litakiv-povitryanyh-syl-kurs-na-povne-onovlennya-avioniky>.
2. Мерніков Г. І. Модернізація України і досвід Китаю. *Стратегічні пріоритети*. 2011. № 3(20). С. 137-145.
3. Игнатьев С. Экономическая целесообразность внесения изменений в конструкцию транспортного самолета / Игнатьев С., Макушкин С., Спиваковский С. // Бюллетень InCaS. – 2021. – №13 – С. 67-76.
4. Бурковський С. І. Досягний рівень модернізації літаків МиГ-21 / С. І. Бурковський, С. І. Смик, Д. А. Півнев // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – №1 – С. 8-11.
5. Wu C., X. Y. Zhang, I. C. Yeh, F. Y. Chen, J. Bender, T. N. Wang. Evaluating competitiveness using fuzzy analytic hierarchy process—A case study of Chinese airlines. *Journal of advanced transportation*. 2013. Vol.47. No.7. P. 619-634.
6. Ważny M. The analysis of the military aircraft maintenance system and the modernization proposal. / M. Ważny, K. Wojtowicz // Maintenance and Reliability. – 2008. – Vol.3. – No.39. – pp. 4-11.
7. O'Rourke R. China naval modernization: Implications for US navy capabilities: Background and issues for congress, 2010. 104 p.
8. Bienen H. The military and modernization. 1st Edition, 2009. 256 p.
9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

Received (Надійшла) 22.09.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.11.2022

### Development of the method for setting priorities of synthesized options of decisions for justification of the type of aircraft construction (modernization)

V. Serebryannikova

**Abstract.** The work developed a method of prioritization of synthesized options for substantiating the type of construction (modernization) of an aircraft. The developed method is based on the improved method of analysis of hierarchies, in which not only point, but also fuzzy assessments of experts are processed. The use of an improved method of analyzing hierarchies allows taking into account risks, opportunities, costs and the expected effect of choosing one or another type of modernization (construction) of an aircraft. The method makes it possible to solve the problems of systematic multi-criteria recognition, classification and ranking of weakly forecasted situations, which are typical for the creation and operation of modifications of basic aircraft.

**Keywords:** modification, aircraft, transport category, aircraft construction, passenger aircraft, transport aircraft, aviation equipment, modernization.