

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАРТОСТІ ВЕРТОЛЬОТІВ З УРАХУВАННЯМ УЗАГАЛЬНЕНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ

На основні результатів аналізу ретроспективи розвитку вертольотів за оглядом практики світового вертолїтобудування, які засвідчують наявність залежності вартості серійного вертольота від значень узагальнених показників його якості у вирішенні основних завдань за призначенням, встановлений її формалізований вигляд, шляхом побудови відповідної математичної моделі

Задача прогнозування вартості перспективних вертольотів вирішується на всіх етапах його створення - від обґрунтування необхідності розробки та визначення концепції нового зразка до прийняття рішення про початок серійного виробництва. Особливу гостроту така задача отримує при необхідності наблизити вертолїт до оптимуму за критерієм "ефективність - вартість" з самого початку розробки - при обґрунтуванні концепції майбутнього зразка вертольота, коли має місце значний рівень невизначеності його вигляду [1].

Труднощі, що виникають при розв'язуванні задачі оцінки вартості майбутнього вертольота, поборюють, в залежності від обсягу, характеру та якості фактичних даних, шляхом поєднання двох протилежних підходів: евристичного та математичного. Перший з них, як правило, передбачує притягнення експертів та до нього звертаються у випадках, коли відсутні зовсім, або коли існує надзвичайно мала кількість аналогів перспективного зразка вертольота. Математичний підхід складається з моделювання зв'язку витрат ресурсів на створення вертольота з найважливішими факторами, що їх обумовлюють, на основі статистичних даних про вартісні показники та значення ТТХ обраних аналогів. Такий підхід вимагає наявності достатньої для отримання моделей кількості аналогів та достовірних даних про значення їх характеристик, при чому останнє визначає точність прогнозів [2].

В якості основних факторів від яких відшукують залежність вартості перспективного зразка авіаційної техніки при побудові відповідних математичних моделей використовують або питому вартість одиниці максимальної злітної маси, або аналогічну питому вартість одиниці маси його складових елементів з одночасним визначенням залежностей витрат маси кожного з цих елементів на досягнення конкретного рівня якісних характеристик вертольота (льотно-технічних, маневрених, злітно-посадочних, тощо) [3]. Використання математичних моделей, що побудовані на зазначених факторах, на етапах концептуальних досліджень дозволяє отримувати прогноз значення вартості майбутнього зразка авіаційної техніки з відносною помилкою навколо 40-50% [4].

Відомі методичні підходи до прогнозування та оцінки вартісних показників літальних апаратів при визначенні шляхів формалізації складових критерію "ефективність-вартість" та основні результати аналізу ретроспективи розвитку вертольотів за оглядом практики світового воєнного вертолїтобудування, які засвідчують наявність залежності вартості серійного вертольота від значень узагальнених показників його якості у вирішенні основних завдань за призначенням, формалізований вигляд якої можливо встановити шляхом побудови відповідної математичної моделі [5].

Для визначення вигляду залежності вартості серійного вертольота від узагальнених показників його якості можливо використати відомі методи математичної статистики та функціонального аналізу, за допомогою яких провести обробку наявного статистичного матеріалу щодо відомих вертольотів. Статистичний матеріал такого роду для вертольотів зібрано за оглядом наявних джерел інформації [6-12]

Проведене ретельне дослідження зміни вартісних витрат на отримання одного й того ж рівня якості вертольотів, при цьому рівень якості за призначенням будемо вимірювати за допомогою коефіцієнтів узагальненого показника якості вертольота при вирішенні ним задач за призначенням, а вартість вертольота розглядати в цінах одного й того ж року,

отриманих за рахунок перерахування вартості серійних вертольотів за допомогою відомих дефляторів цін, в даному випадку у цінах 2000 ф.р. в доларах США.

Найважчий статистичний матеріал зведено до відповідної вибірки. Для якої методом групового урахування аргументів на основі кратної апроксимації відповідних вибірок статистичного матеріалу методом найменших квадратів були отримані залежності приведеної їх вартості від узагальнених показників його якості. У першому наближенні відшукувалися лінійні залежності виду:

$$S = b_0 + a_1 K_{\text{як}} , \quad (1)$$

де b_0 , - вільний член, що враховує вплив неврахованих факторів;

a_1 , $K_{\text{як}}$ - відповідно, коефіцієнт впливу та значення параметру, що характеризує коефіцієнт узагальнених показників якості при вирішенні задач за призначенням.

Побудова моделей типу (1) для вертольотів при вирішенні відповідної задачі на основі використання генеральної вибірки обсягом 14 вертольотів, при цьому для створення базової вибірки перевага віддавалися елементам (вертольотам), для яких характерним є виконання відповідного завдання за призначенням з подальшим її скороченням.

Критеріями для оцінки узгодженості моделей та статистичних даних були обрані:
- середнє квадратичне відхилення, що визначається виразом:

$$\sigma_{ei}^2 = N^{-1} \sum_{j=1}^N (S_{ij \text{ реал.}} - S_{ij \text{ розр.}})^2 , \quad (2)$$

де $S_{ij \text{ реал.}}$, $S_{ij \text{ розр.}}$ - вартість відомої j -ої реалізації у контрольній вибірці обсягом N та розраховані для даної реалізації по отриманій моделі, відповідно;

- абсолютне середнє відхилення на інтервалі інтерполяції:

$$E = (\sigma_{ei}^2)^{0,5} ; \quad (3)$$

- максимальна відносна помилка розрахунків на інтервалі інтерполяції:

$$\delta_{\text{max } i} = \frac{\max_{j=1, N} (S_{ij \text{ реал.}} - S_{ij \text{ розр.}})}{S_{ij \text{ реал.}}} \quad (4)$$

З отриманих варіантів математичних моделей визначалися найкращі по узгодженості із статистичними даними за ознакою:

$$E_i = \min_{k=1, K} (E_{ik}) ; \quad (5)$$

$$\delta_{\text{max } i} = \min_{k=1, K} (\delta_{\text{max } ik}) , \quad (6)$$

де k - номер варіанту математичної моделі i -го виду із загальної чисельності K .

Тоді первинний вигляд математичної моделі буде мати вигляд:

$$S = -0,66 + 3,6K_{\text{як}} . \quad (7)$$

Така модель описує залежність вартості вертольотів з максимальною відносною помилкою $\bar{\delta}_{\max} = 55,9\%$ та абсолютним середнім відхиленням на інтервалі інтерполяції $E_i = 0,053$.

Таблиця 1 - Результати узгодженості математичної моделі типу (7).

Тип вертольота	UH-1M "ТРОКЕЗ"	OH-58A "КАЙОВА"	SA-341 "ГАЗЕЛЬ"	Mi-24B	АН-1S "КОБРА-ТОУ"	Mi-24П	АН-64А "АПАЧ"	Mi-8ТБ
$S_{\text{пр.2000}}$	3,8	4,47	5,03	7,0	7,8	7,0	13,0	4,6
$S_{\text{пр.розр.}}$	4,38	5,1	5,46	8,01	7,98	4,49	12,3	4,1
$\delta\%$	13,2	7,1	7,9	12,6	2,3	55,9	13,0	9,8

Після оцінки якісних показників отриманої моделі визначаємо реалізації, що відповідають максимальному відхиленню від гіперплощини регресії, які необхідно скоротити у першу чергу за відомою процедурою аналізу залишкових елементів.

Скорочення вибірки відбувається за рахунок реалізації з максимальною відносною помилкою (вертоліт Mi-24П), яка складає більше 55%.

Наступний крок побудови математичної моделі здійснювався на базі вибірки сім реалізацій.

Було отримано математичну модель у вигляді:

$$S = -2,0 + 4,08K_{\text{як}} \quad (8)$$

Така модель описує залежність вартості вертольотів з максимальною відносною помилкою $\bar{\delta}_{\max} = 11,3\%$ та абсолютним середнім відхиленням на інтервалі інтерполяції $E_i = 0,36$.

Таблиця 2 - Результати узгодженості математичної моделі типу (8)

Тип вертольота	UH-1M "ТРОКЕЗ"	OH-58A "КАЙОВА"	SA-341 "ГАЗЕЛЬ"	Mi-24B	АН-1S "КОБРА-ТОУ"	АН-64А "АПАЧ"	Mi-8ТБ
$S_{\text{пр.2000}}$	3,8	4,47	5,03	7,0	7,8	13,0	4,6
$S_{\text{пр.розр.}}$	3,71	4,53	4,94	7,79	7,79	11,69	4,53
$\delta\%$	2,4	4,4	1,8	11,3	1,3	10,1	1,5

Як свідчить аналіз по узгодженості отриманих варіантів математичних моделей із статистичними даними за ознакою (5) та (6) можливо прийняти що найкращий варіант математичної моделі визначення вартості вертольотів при вирішенні ним відповідних задач має вигляд (8):

Отримати більш складний вид залежності вартості вертольоту від його коефіцієнтів узагальненого показника якості виявилось неможливим внаслідок суттєвої обмеженості обсягу наявного статистичного матеріалу.

Достовірність залежностей, що були отримані, перевірялася шляхом порівняння розрахункових значень вартості з вартістю відомих реалізацій вертольотів за курсом долару США 2000 фінансового року. Результати такої перевірки та характеристики точності описання математичними моделями залежностей вартості вертольотів приведені в табл.2-3.

Результати свідчать, що математична модель вартості типу (8) достатньо точно описує поведінку останньої від коефіцієнтів узагальненого показника якості при умові $K_{\text{як}} \in [K_{\text{як.мін}}; K_{\text{як.мак}}]$ взятого для відповідної вибірки. З урахуванням максимальної точності, що досягнуто у відомих моделях вартості для прогнозування на допроектних стадіях створення літальних апаратів, яка у найкращому випадку складає 40-50% відносної помилки, точність побудованої моделі можливо вважати достатньою для проведення аналізу впливу розвитку авіаційних технологій на поведінку вартісних показників вертольотів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Демидов Б.А. Программно-целевое планирование и научно-техническое сопровождение вооружения и военной техники. Кн.1. - Харьков: ХВУ, 1997. - 545с.
2. Демидов Б.А. Методы военно-экономического анализа. - Харьков: ВИРТА ПВО, 1985. - 619с.
3. Прогнозирование стоимости авиационных программ// Техническая информация ЦАГИ.- 1992. - №17-18. - С.1-28.
4. Прогнозирование стоимости авиационных программ// Техническая информация ЦАГИ , 1978. - № 3.- С. 1-17.
5. Леонтьев О.Б., Миронович В.М. Особливості математичних моделей прогнозування вартості тактичних літаків різних країн-виробників з урахуванням узагальнених показників бойової ефективності// Зб. наук. праць ННДЦ ОТ і ВБ України. - 2001. - Вип.5. - С.125-129.
6. Перспективы развития зарубежных винтокрылых аппаратов// Аналитический обзор ОНТИ. - М.: ЦАГИ, 1990.-142 с.
7. Планы финансирования военных программ США в области авиационной техники на 1992 ф. г. Вертолёты.// Техническая информация ЦАГИ. - 1992. - №1-2. - С.23-28.
8. Планы финансирования военных программ США в области авиационной техники на 1993 ф. г.// Техническая информация ЦАГИ. - 1992. - №16. - С.1-28.
9. Планы финансирования военных программ США в области авиационной техники на 1991 ф. г.// Техническая информация ЦАГИ. - 1990. - №20(1337). - С.1-28.
10. Перспективный западноевропейский вертолёт EH-101// Техническая информация ЦАГИ. - 1988. - №16. - С.6-12
11. Планы финансирования военных программ США в области авиационной техники на 1988-1989 ф. г.// Техническая информация ЦАГИ.- 1988. - №17.- С.1-28.
12. Планы финансирования военных программ США в области авиационной техники на 1989 ф. г. Вертолёты.// Техническая информация ЦАГИ. - 1988. - № 16.- С.24-28.