

О.Є. Мавренков, С.В. Матвійчук

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

ВИБІР МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАГОМОСТІ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНІЧНОЇ ДОСКОНАЛОСТІ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Представлено результати аналізу існуючих методів визначення коефіцієнтів вагомості при оцінюванні властивостей різних об'єктів, що досліджуються. Запропоновано схему класифікації досліджуваних методів. Визначено переваги і недоліки розглянутих методів та перспективи застосування їх до оцінки коефіцієнтів вагомості зразків озброєння і військової техніки. Проаналізовано аналітичні (формальні) підходи до розрахунку вагомості властивостей об'єктів. За результатами аналізу показано, що майже кожна спроба формалізації процесу визначення коефіцієнтів вагомості зазнає певного втручання експертів. Зроблено висновок про доцільність і пріоритетність застосування методу теорії чутливості для аналітичного визначення коефіцієнтів вагомості показників технічної досконалості (тактико-технічних характеристик) зразків озброєння та військової техніки як складних технічних систем.

Ключові слова: коефіцієнти вагомості, показники технічної досконалості, складна технічна система, зразок озброєння та військової техніки, аналітичні методи, кваліметрія.

Вступ

Постановка проблеми. У сучасних дослідженнях, присвячених оцінюванню якості (технічного рівня) зразків озброєння і військової техніки (ОВТ), широко застосовуються методи кваліметричного оцінювання. У свою чергу, якість характеризується сукупністю окремих властивостей (показників технічної досконалості – ПТД) множини елементів об'єкту, що визначають здатність задовольняти відповідні потреби найбільш прийнятним і економічним способом відповідно до призначення [1, с. 5]. При цьому невід'ємною складовою процесу оцінювання є встановлення значень коефіцієнтів вагомості (КВ) окремих властивостей (ПТД), що характеризують відносну важливість (значущість) певного ПТД серед інших. Вибір доцільного методу визначення КВ з множини існуючих залишається актуальним питанням у процесі оцінювання (порівняння) технічного рівня зразків ОВТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час в науковій літературі описана значна кількість різноманітних методів оцінювання КВ різних об'єктів. Однак, що стосується використання зазначених методів при оцінюванні зразків ОВТ як складних технічних систем, то існують деякі обмеження, а часом і неможливість застосування окремих підходів. У цій статті авторами аналізуються відомі підходи та методи, що присвячені розрахунку КВ, та робиться спроба вибору найбільш доцільного методу в процесі

оцінювання технічного рівня зразків ОВТ. При цьому дослідження авторів зосереджується на аналітичних методах розрахунку КВ з мінімальним впливом суб'єктивного фактору.

Усі методи умовно можна поділити на експертні та аналітичні. Авторами запропоновано варіант класифікації відомих методів визначення КВ, що представлена на рис. 1.

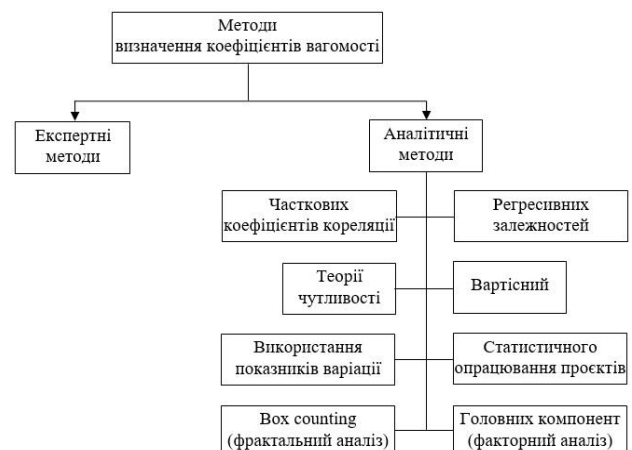


Рис. 1. Варіант класифікації методів визначення коефіцієнтів вагомості.

Джерело: розроблено авторами.

Як відомо, при кваліметричному оцінюванні на практиці широко використовуються різноманітні експертні методи визначення КВ, опис яких докладно представлено в багатьох наукових працях, наприклад, у [1, с. 15; 2, с. 92...95; 3, с. 66...80; 4, с. 76...78; 5, с. 2...24; 11, с. 84...89].

Зазначені методи відрізняються між собою як поглядами до постановки питань, на які відповідають експерти, так і проведенням експериментів і обробкою результатів експертиз [5, с. 3]. Однак, спільним для них є вирішальний вплив суб'єктивного фактору (суб'єктивізм оцінок), що залежить від особливостей індивідуальної психологічної реакції кожного експерта, рівня його компетентності, уподобань, характерних поглядів на процедуру та об'єкт дослідження, тощо [10, с. 14]. Ці обставини супроводжуються значним ризиком прийняття помилкових рішень. Крім того, як показує практика, усі експерти можуть прийняти одне спільне, але невірне рішення. Суттєвими недоліками застосування експертних методів є також обмеження на кількість одночасно порівнюваних альтернатив (це пов'язане з фактом, що людині важко здійснювати раціональний вибір, якщо число об'єктів вибору перевищує 7 ± 2) і наявність конфліктуючих систем переваг.

Таким чином, використання експертних методів для визначення КВ при оцінюванні технічного рівня (порівнянні) зразків ОВТ має суттєві застереження. Тому дослідження авторів було спрямовано на аналіз аналітичних (формальних) методів визначення КВ стосовно мінімізації негативного впливу суб'єктивного фактору.

Мета статті – аналіз науково-методичних підходів для визначення КВ і вибір з цих методів таких, що містять в собі мінімальний вплив суб'єктивного фактору на результат визначення КВ ПТД зразків ОВТ.

Виклад основного матеріалу

Слід зазначити, що для більшості методів кваліметричної оцінки зразків ОВТ коефіцієнти вагомості в межах окремого кваліметричного експерименту є сталими величинами, які не пов'язані з отриманими експериментальними значеннями показників властивостей. Тому вагомості може мати вирішальне значення для кінцевої кваліметричної оцінки. Для прикладу, навіть якщо одна з оцінюваних систем має незначну перевагу над аналогічною, то за рахунок високого значення КВ їх спільний внесок у значення комплексного показника якості буде досить істотним.

Досвід застосування методів, призначених для оцінки КВ встановлених експертами, став поштовхом синтезу аналітичних і експертних методів для пошуку шляхів формалізації процесу визначення КВ. Одним з методів, що поєднає обидві складові, є **метод статистичного опрацювання проєктів** [11, с. 85]. Суть методу полягає в модифікуванні шляхів отримання

експертних висновків про КВ без організації діяльності груп експертів. Передбачається, що в процесі проєктування певного виробу спеціаліст у самому проєкті опосередковано відображає власну думку про відносну важливість окремих властивостей, які характеризують якість проєкту. Провівши статистичне опрацювання достатньої кількості таких проєктів, можна виявити узагальнене уявлення спеціалістів про КВ. Умовою можливості реалізації методу є перелік та конкретні значення ПТД групи однорідних зразків, а також еталонів об'єкта, що саме по собі викликає певне застереження, оскільки вже йдеться не про проєкт об'єкту дослідження, а про його конкретні зразки. Наближене значення КВ i -го показника властивості шукатиметься за виразом:

$$w_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{K_{ij}}{\sum_{i=1}^n K_{ij}}, \quad (1)$$

де m , n – відповідно, об'єм вибірки однорідних зразків та кількість ПТД; $K_{ij} = \frac{Q_{ij} - q_i^{\bar{p}}}{q_i^{em} - q_i^{\bar{p}}}$ – відносне значення проєктного i -го показника властивості, що визначається за $Q_{ij}, q_i^{\bar{p}}, q_i^{em}$ абсолютними – поточним, бракувальним та еталонним значеннями показників властивостей для сукупності j -их вибірових зразків, відповідно [11, с. 85].

Формула (1) показує, що більші значення КВ будуть отримані для показників, усереднених за вибіркою m , поточні значення Q_{ij} яких будуть

ближчими до q_i^{em} . Тобто ступінь вагомості показника буде виражатися автором проєкту опосередковано, через закладення для вагоміших показників об'єкту якнайкращих значень. Такий висновок безумовно є логічним, але не обов'язково однозначним, оскільки ніколи не буде достеменно відомо, чи розробник проєкту в своїй діяльності керувався саме такою логікою. Окрім того, у поєднанні зі складністю виконання умов для реалізації і самої реалізації, метод матиме обмежене практичне застосування для оцінювання якості реальної продукції, зокрема, зразків ОВТ [11, с. 85].

Також у роботі [11, с. 85...86] представлено модифікацію розглянутого вище методу, що має назву **метод часткових коефіцієнтів кореляції**, який базується на подібних логічних міркуваннях. Оскільки виділені на розроблення (виробництво) певного об'єкту ресурси є завжди обмеженими, то необхідно сконцентрувати увагу на пошуках компромісу між характеристиками властивостей, що можуть бути закладені в цей об'єкт. Причому деякі властивості зазвичай будуть конкурувати

одна з одною, тобто збільшення позитивних властивостей одних за рахунок погіршення інших. Тому, очевидно, що розробник старатиметься наближати до еталонного значення ті показники властивостей, які він вважає важливішими – тобто такі, що мають більші значення КВ.

За рахунок цього, утворюється позитивний кореляційний зв'язок між значеннями таких показників властивостей і комплексною оцінкою у вигляді узагальненого комплексного показника K_j .

Суттю метода є те, що умовою його реалізації є перелік та конкретні значення показників властивостей групи однорідних зразків, еталонів об'єкту, а також апіорна інформація про показник K_j для групи m однорідних зразків, яку повинен би був внести експерт. Зазначимо, що кількість показників не повинна бути надто великою ($i = \overline{1, i}; n \leq 25$). Крім того, необхідно володіти інформацією про залежність $K_j = f(Q_{ij})$ – чи дійсно їй властивий стохастичний характер, а не функціональний, для кожного об'єкта, та чи окремі Q_{ij} , не пов'язані між собою функціональними зв'язками.

Таким чином, КВ визначатимуться через часткові коефіцієнти парної кореляції за виразом:

$$w_i = \frac{\gamma_{K_{ij}, K_j}}{\sum_{j=1}^m \gamma_{K_{ij}, K_j}}, \quad (2)$$

де γ_{K_{ij}, K_j} – коефіцієнт парної кореляції між значеннями окремого i -го показника для сукупності j -их вибірових зразків та значеннями узагальненого комплексного показника K_j .

Визначені КВ w_i в подальшому можуть бути використані при аналітичному розрахунку узагальненого комплексного показника якості інших об'єктів, однотипних з вибіркою m апіорно оцінених об'єктів.

Після розгляду зазначеного методу виникає питання про його коректність. Оскільки впливає наявний недолік, пов'язаний з тим, що інформація про комплексний показник K_j для групи однорідних зразків є суб'єктивною. У такому разі, визначенням КВ також властива суб'єктивність.

Наступним підходом для аналітичного визначення КВ є **метод регресивних залежностей**. Це статистичний метод визначення вагомості факторів, що впливають на результативність технічної системи.

Зміст методу полягає в аналітичному визначенні КВ тих рівнянь, якими би міг несвідомо

оперувати експерт, вносячи для певного об'єкту висновки про комплексну оцінку у вигляді узагальненого комплексного показника K_j . Цей метод також не обходиться без інформації про функціональну залежність $K_j = f(Q_{ij})$, яка повинна мати функціональний, а не стохастичний характер. Разом з тим, має бути апіорна інформація про значення K_j для сукупності однорідних виробів, де слід зазначити, що $n \leq m$.

Для більшості практичних випадків $K_j = f(K_{ij})$ знаходять як середнє зважене арифметичне чи геометричне із системи лінійних алгебраїчних рівнянь, які, відповідно, будуть мати вигляд [11, с. 86]:

$$\left\{ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n K_{ij} w_i = K_j \right\}, \text{ або } \left\{ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n w_i \log K_{ij} = n \log K_j \right\}. \quad (3)$$

У цьому випадку w_i можуть бути знайдені як корені вказаних систем рівнянь.

Метод регресивних залежностей є потужним інструментом, який може бути використаний для визначення КВ, а також для аналізу залежності між змінними і прогнозуванням майбутніх значень. Важливо використовувати його з урахуванням його обмежень і вимог до даних. Слід зауважити, що розглянутий метод регресивних залежностей добре поєднується з методами нечіткої логіки, який має функцію структурування (розподілу) інформації, отриманої від експертів. Таке поєднання можливо інтерпретувати як спробу об'єктивізації процесу ранжування КВ. Проте, їх застосування порізно немає сенсу за відсутності належної апіорної інформації.

Однак, такий метод наділений тими самими недоліками, що й попередній. Також, слід зауважити, про необхідність володіння великою кількістю апіорної інформації для реалізації цього методу, яка загалом буде ускладнювати процес вимогами до її обробки і попередніх досліджень.

Різноманітні підходи з визначення КВ набули широко застосування у економіці країни. У сучасних економічних дослідженнях КВ присвячується важлива роль, від якої залежить економічний розвиток держави, що підкреслює їх важливість та спонукає до пошуку шляхів (методів) з їх визначення.

У дослідженнях у галузі економіки при аналітичному визначенні КВ, при розрахунку таксономічних показників, активно застосовується **метод, що базується на використанні показника варіації**.

Показник варіації розраховується і застосовується для визначення КВ так [12, с. 1...2]:

$$w_k = \frac{V_k}{\sum_{k=1}^n V_k}, \quad (4)$$

причому:

$$V_k = \frac{S_k}{x_k}, \quad (5)$$

$$\bar{x}_k = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w x_{ik}, \quad (6)$$

$$S_k = \left[\frac{1}{w-1} \sum_{i=1}^w (x_{ik} - \bar{x}_k)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

де: w_k – коефіцієнт вагомості (ієрархії); $\bar{x}_k$ – середнє значення k -ї ($k=1,2,\dots,n$) ознаки (показника); x_{ik} – значення k -ї ознаки (показника) для i -го об'єкту дослідження; S_k – стандартне відхилення ознаки k .

Подальше використання отриманих КВ полягає у їх помноженні на стандартизоване значення k -ї ознаки i -го об'єкту дослідження:

$$Z_{ik}^* = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k} \times w_k, \quad (8)$$

де Z_{ik}^* – стандартизоване значення k -ї ознаки для i -го об'єкту дослідження, скориговане на коефіцієнт вагомості.

Недоліком методу є те, що проникаючи у сутність коефіцієнта варіації, виникають сумніви щодо адекватності його використання при розрахунках КВ. Розбіжності у значеннях певних показників, що лежать в основі розрахунку таксономічного показника, можуть бути дуже значним у порівнянні з іншими, але це зовсім не створює підстави для того, щоб вважати ці показники більш впливовими [12, с. 2].

У теорії кваліметрії, додатково до вже розглянутих підходів визначення КВ, використовується вартісний метод, в основі якого лежить припущення про прямопропорційну залежність значущості (вагомості) j -ої властивості M_j від витрат (грошових, трудових, матеріальних та ін.), що забезпечують її існування C_j :

$$M_j = \frac{C_j}{\sum C_j}. \quad (9)$$

При цьому, витрати виражаються у грошовій (фінансовій) формі ціни. Як відомо, ціна підвладна змінам (коливанням). Це означає, що при кожній зміні ціни змінюються витрати, тобто повинні

змінюватися КВ, що, як правило, суперечить дійсності.

Ще одним методом аналітичного визначення КВ є **метод головних компонент** [14, с. 7]. Це один з поширених методів обробки даних, метою якого є зменшення їх розмірності з мінімальними втратами корисної інформації. Цей метод полягає у пошуку додаткової системи прямих або площин простору змінних, які будуть відображати максимальну дисперсію вихідних значень – така пряма або площина і називається головною компонентою. Одним із застосувань методу головних компонент є визначення КВ, які вказують на відносну важливість кожної змінної у відношенні до загальної варіації в даних. Аналіз головних компонент є процедурою скорочення змінних, внаслідок чого залишається, як правило, відносно невелике число компонентів, що включають більшу частину значень досліджуваних змінних [15, с. 51].

Перед проведенням аналізу з метою усунення впливу масштабу та розмірності показників здійснюється їх стандартизація:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}, \quad (10)$$

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{n-1}}, \quad (11)$$

де i, j – відповідно індекс показника та року; x_{ij} , z_{ij} – вихідне та стандартизоване значення показника відповідно; $\bar{x}_j$ – середнє значення показника; σ_j – вибіркве середньоквадратичне відхилення показника.

Алгоритм визначення КВ за допомогою методу головних компонент [16, с. 160...162].

1. Для визначення КВ використовується модель головних компонент. Основний математичний метод виділення факторів та їх навантажень базується на визначенні власних чисел та власних векторів кореляційної матриці.

2. Модель головних компонент трансформує m -вимірний ознаковий простір у p -вимірний простір компонент ($p < m$).

3. У моделі головних компонент зв'язок між первинними ознаками і компонентами описується як лінійна комбінація:

$$y_i = \sum_j^m c_{ij} G_j, \quad (12)$$

де y_i – стандартизовані значення i -ї ознаки з одиничними дисперсіями (сумарна дисперсія дорівнює кількості ознак m); c_{ij} – внесок j -ї компоненти в сумарну дисперсію множини

показників i -ої ознаки; G_j – множина j -х компонент (головна компонента).

4. Компоненти G_j також є лінійною комбінацією:

$$G_j = \sum_i d_{ij} x_{ij}, \quad (13)$$

де d_{ij} – факторні навантаження; x_{ij} – вхідні дані.

5. Коефіцієнти вагомості a_{ij} розраховуються за формулою:

$$a_{ij} = \frac{c_{ij} \cdot |d_{ij}|}{\sum c_{ij} |d_{ij}|}. \quad (14)$$

Автоматизація розрахунків за представленим алгоритмом може бути реалізована в програмі Statistica.

Серед недоліків розглянутого методу можна виділити технічну складність і залежність від коректності побудови самої моделі.

На сьогодні стрімко набуває популярності **фрактальний аналіз** – відносно молода і швидко прогресуюча галузь сучасної математики, яка засобами теорії мір дробових порядків, метричних розмірностей, операторів дробового інтегрування та диференціювання вивчає властивості математичних об'єктів зі складною локальною будовою [17].

Фрактальний аналіз – є методом дослідження складних систем, який дає змогу вивчати їх властивості на основі їх структурної складності. Один з ключових елементів фрактального аналізу – це поняття “фрактальної розмірності”, яке може бути використане для визначення КВ. Фрактальний аналіз може бути використаний для визначення КВ в системах, де складність структури може бути описана за допомогою фрактальної розмірності. Зазвичай це застосовується до систем з нерегулярними, складними формами або систем, що містять багато масштабів. Одним з відомих алгоритмів для визначення фрактальної розмірності є алгоритм box-counting [17].

Сутність методики box-counting полягає в тому, що є вхідні фактори $X_1, X_2, \dots, X_n$, значення кожного з них знаходяться в обмеженій області, тобто $x_{ij} \in \Omega_i, X_i = \{x_{ij}\}, j = \overline{1, m}$ [18, с. 15...17].

Згідно з положеннями теорії інформації та теорії ймовірності, мірою передбачуваності значення фактора X_k є його ентропія. Ентропія є максимальною, якщо всі значення фактора рівномірні. У методиці „box-counting” ентропія оцінюється за кількістю заповнених чарунок, на які розбивається інтервал її можливих значень (рис. 2).

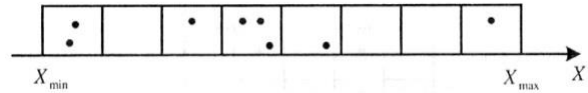


Рис. 2. Розподіл значень по чарунках

Джерело: [18, с. 16].

Таким чином, кількісно ентропія є логарифмом ефективного числа заповнених чарунок $H(X_k) = \log N_{X_k}$.

Очевидно, що ентропія збільшується зі збільшенням кількості заповнених чарунок. Зростання ентропії (міри невизначеності) призводить до зменшення міри передбачуваності значень фактора. Якщо всі значення зосереджені в одній чарунці, то ентропія фактора дорівнює нулю (має місце повна визначеність). Рівномірному заповненню чарунок відповідає максимальна ентропія.

Передбачуваність результуючої характеристики Y , яка визначається знанням значень фактора X , розраховується як крос-ентропія (кількість інформації)

$$I(X, Y) = H(X) + H(Y) - H\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (15)$$

Крос-ентропія є логарифмом відношення розсіювання значень змінної Y до типового розсіювання цієї змінної при відомому значенні змінної X .

$$I(X, Y) = \log \left(\frac{N_x N_y}{N_{xy}} \right), \quad (16)$$

де N_{xy} – кількість чарунок, у яких знаходяться точки з координатами (X_i, Y_i) .

Що більшим є значення крос-ентропії, то більше визначеності вносить знання значень X в прогноз значення Y , тобто тим більшим є їх вагомість.

До переваг представленої методики можна віднести: легкість використання – проста у застосуванні, не потребує складних розрахунків або спеціального обладнання, що робить її доступною для використання в багатьох галузях; універсальність – може застосовуватися для вимірювання фрактальної розмірності будь-яких об'єктів, включаючи фізичні, біологічні та соціальні системи; об'єктивність – забезпечує об'єктивність вимірювань, оскільки кількість квадратів, які покривають об'єкт, може бути точно виміряна; результати можуть бути порівняні – методика дає змогу порівнювати різні об'єкти на основі їх фрактальної розмірності, що робить її корисною для аналізу даних та порівняння різних систем.

Однак методиці „box-counting” властиві певні недоліки: обмеження масштабу – методика не може бути використана для вимірювання фрактальної

розмірності на дуже малих або дуже великих масштабах; відносна точність – результати методики можуть бути менш точними, ніж результати інших методів вимірювання фрактальної розмірності; суб'єктивність: – визначення меж об'єкту для використання методики може бути суб'єктивним та залежати від інтерпретації дослідника.

Як видно, в усіх описаних вище методах, навіть з наближенням їх до аналітичності, все одно простежується певна участь експертів, що може супроводжуватися негативним впливом суб'єктивного фактору при визначенні КВ.

Проте, у роботі [19, с. 142...146] описано метод, який на думку авторів практично виключає вплив суб'єктивного фактору на кінцевий результат оцінювання КВ характеристик (параметрів) складної технічної системи. Це метод аналітичного визначення КВ складних технічних систем на основі **теорії чутливості**, який є інструментом аналізу, що застосовується для визначення рівня впливу змін вхідних параметрів (ПТД) на вихідний результат математичної (імітаційної) моделі функціонування (застосування, використання) складної технічної системи.

При цьому КВ визначається через ступінь впливу факторів (вхідних параметрів моделі) на функцію відгуку (вихідний результат моделювання), який може бути визначено через їхній внесок. Під внеском j -го фактору Δ_j розуміється та частка функції відгуку Y , на яку вона може змінитися при варіюванні даного фактору від його мінімального ($X_{j\min}$) до максимального ($X_{j\max}$) значення (рис. 3) [19, с. 145]:

$$\Delta_j = |Y(X_{j\max}) - Y(X_{j\min})|. \quad (17)$$

При цьому інші фактори фіксуються на їхніх основних рівнях (X_{k0} , $k \neq j$).

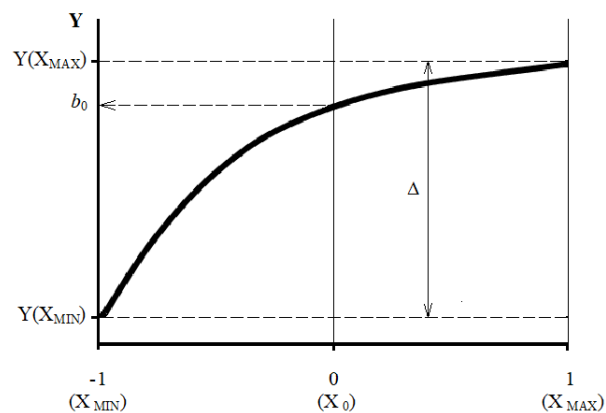


Рис. 3. До визначення значимості факторів.

Джерело: розроблено авторами за даними [19, с. 162].

За допомогою Δ_j можна проранжувати всі оцінювані фактори в ряд за зменшенням ступеня їхнього впливу на функцію відгуку Y , а також визначити, на скільки вплив одного фактора сильніше впливу іншого. Кількісно це оцінюється за допомогою деякої величини відносного внеску δ_j [19, с.145]:

$$\delta_j = \frac{\Delta_j}{b_0}, \quad (18)$$

де b_0 – величина вільного члена регресійної моделі.

Якщо δ_j стає менше встановленого граничного значення, даний фактор вважається несуттєвим у відношенні обраної функції відгуку і може бути виключений з подальших досліджень. Рекомендується граничне значення для інженерних розрахунків встановлювати в межах $0,1 \dots 0,15$.

За таким методом відбувається відсіювання малозначущих факторів, які не суттєво впливають на функцію відгуку Y та які можуть бути виключені з подальших досліджень, і формується множина визначальних факторів, що здійснюють вирішальний вплив на Y .

На наступному етапі, на основі регресійного аналізу та теорії планування експерименту, здійснюється побудова регресійної залежності функції відгуку Y від множини визначальних факторів у вигляді поліному n -го ступеню для зручності проведення подальших досліджень:

$$Y = b_0 + \sum_{j=1}^M b_j x_j + \sum_{j=1}^M b_{jj} x_j^2 + \dots + \sum_{j=1}^M b_{j\dots n} x_j^n, \quad (19)$$

Для безпосереднього визначення КВ ПТД авторами пропонується використовувати підхід, що засновується на зазначеному методі теорії чутливості та в основі якого лежить припущення про єдину фізичну сутність таких понять, як КВ j -го ПТД зразка ОВТ (α_j) і величина δ_j , що характеризує відносний внесок даного ПТД в показник його ефективності бойового застосування.

Дійсно, ваговий коефіцієнт j -го ПТД за визначенням теорії кваліметрії – це кількісна характеристика значимості (важливості) даного показника властивості серед інших показників властивостей об'єкту, що визначають функцію його якості. З іншого боку, величина δ_j , за визначенням теорії чутливості (регресійного аналізу), характеризує кількісно ступінь впливу (важливості) j -го фактора (ПТХ) на функцію відгуку і характеризує значимість даного фактора серед інших складових поліноміальної регресійної моделі.

Рівні ознаки величин α_j і δ_j дають змогу використовувати як вагові коефіцієнти ПТД зразків ОВТ нормовані до одиниці значення їхніх внесків (δ_j), отримані на основі регресійного аналізу моделі бойового застосування таких зразків ОВТ.

Таким чином, для визначення КВ ПТД у математичній моделі за допомогою методу теорії чутливості потрібно виконати такі кроки:

визначити (розробити) математичну (імітаційну) модель, яка описує залежність між вхідними ПТД і вихідним результатом функціонування складної технічної системи;

визначити вхідні ПТД, які здійснюють суттєвий вплив на вихідний результат;

виконати розрахунки за допомогою методу теорії чутливості для кожного вхідного ПТД окремо, включаючи зміни його значень на певну величину і оцінюючи вплив цих змін на вихідний результат;

побудувати поліноміальну модель на основі вихідної математичної (імітаційної) моделі з використанням регресійного аналізу та теорії планування експерименту;

визначити КВ як долю впливу кожного суттєвого ПТД на вихідний результат.

Застосування методу теорії чутливості у процесі визначення КВ практично зводить до мінімуму вплив суб'єктивного фактору, що, на нашу думку, можна вважати перевагою даного методу. Однак, використання цього методу значно ускладнює процес оцінювання і потребує додаткових зусиль та часу, що пов'язано, насамперед, з необхідністю розроблення адекватної математичної (імітаційної) моделі функціонування оцінюваної складної технічної системи (зразка ОВТ).

На основі аналізу вище представлених аналітичних методів, які можна буде використати для визначення КВ ПТД зразків ОВТ як складних технічних систем, авторами робиться висновок про пріоритетність використання методу теорії чутливості як такого, що максимально позбавлений негативного впливу суб'єктивного фактору на кінцевий результат оцінювання відносної важливості ПТД.

Висновки

Проведений аналіз показує, що на сьогодні питання формалізації процесу оцінки КВ широко

досліджувалось. Однак, відомі методи визначення КВ мають необхідність у початковій апріорній інформації, отримання якої засновується на обробленні доволі великого обсягу експертної інформації. Як наслідок, більшості таким методам властива досить вагома складова суб'єктивізму, що може негативно впливати на кінцевий результат оцінювання відносної важливості факторів. Аналіз показує, що майже в кожному з розглянутих методів, навіть з наближенням їх до аналітичності, все одно прослідковується хоч мінімальна, але все таки участь експертів. Важливо зауважити, що без участі експертів переважна більшість відомих формалізованих методів можуть бути обмежені в точності та повноті визначення вагомості складових (показників) системи.

Однак, серед таких методів можна виділити ті, що можна вважати суто аналітичними, максимально позбавленими негативного впливу суб'єктивного фактору, який притаманний експертним процедурам. Таким є описаний вище метод теорії чутливості. За висновками авторів цей метод є найбільш доцільним при оцінюванні КВ ПТД зразків ОВТ з огляду на співвідношення об'єктивності та однозначності отримуваних результатів і витрат ресурсів на проведення досліджень.

Проте, потрібно враховувати те, що працездатність методу обумовлюється якістю математичної (імітаційної) моделі функціонування складної технічної системи (зразка ОВТ) – те, наскільки вона адекватно та достовірно відтворює процес її (його) застосування (використання) та повно враховує визначальні ПТД, що її (його) описують і є вхідними параметрами моделі.

Подальші дослідження авторів буде зосереджено на розробленні математичної (імітаційної) моделі бойового застосування багатофункціонального безпілотної літального апарату (БпЛА), яка включає розширений перелік ПТД його систем, обладнання та озброєння при виконанні завдань повітряної розвідки та ураження наземних (надводних) цілей і проведення за її допомоги модельного експерименту для оцінювання величини впливу кожного з ПТД на ефективність бойового застосування такого БпЛА.

Список літератури

1. Путятіна Л.І. Методичні вказівки з дисципліни Статистичні методи менеджменту якості. Український державний університет залізничного транспорту. Харків, 2019. 30 с.
2. Коцюбівська К. І. Визначення вагових коефіцієнтів інтегральних індексів економічної безпеки. Статистичне та експертно-аналітичне забезпечення управління сталим розвитком економіки і соціальної сфери : матеріали III Міжнар. науково-практ. конф., (м. Чернігів, 5 груд. 2017р.) Чернігів, 2017. С. 92–95.
3. Буряк Я.Ю. Розроблення системи кваліметричного оцінювання складних технологічних систем. *Київський національний університет технологій та дизайну*. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/19550/3/Dyplom152_Buryak_Khimicheva.pdf (дата звернення: 02.05.2023).
4. Метод визначення параметрів вагомості показників якості продукції / Т. З. Бубела та ін. *Методи та прилади контролю якості*. 2007. № 18. С. 76–78.
5. Зубкова Н.В. Кваліметрія, управління якістю, сертифікація та конкурентоспроможність продукції. *Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*. URL: http://web.kpi.kharkov.ua/cutting/wp-content/uploads/sites/143/2016/12/LR_Z.pdf (дата звернення: 02.05.2023).
6. Назаренко Л.О. Експертиза товарів (експертиза продовольчих товарів): навч. посіб. Київ: Центр учб. літ., 2017. 311 с.
7. Медиковський М.О., Шуневич О.Б. Дослідження ефективності методів визначення вагових коефіцієнтів важливості. *Вісник Хмельницького національного університету "Технічні науки"*. 2011. №5. – С. 176–182.
8. Ткачова О.К. Метод Сааті при прийнятті управлінських рішень. *Держава та регіони. Серія: економіка та підприємництво*. 2015. № 4. С. 92–96.
9. Волощук Р.В. Порівняльний аналіз підходів до визначення вагових коефіцієнтів інтегральних індексів стану складних систем. *Зб. наук. праць Національної академії наук України Індуктивне моделювання складних систем*. 2013. № 5. С. 151–165.
10. Назаренко Л.О. Експертиза товарів (Експертиза продовольчих товарів). Київ: Центр учб. літ., 2014. – 312 с.
11. Бойко Т.Г. Огляд методів визначення вагових коефіцієнтів показників властивостей продукції. *Методи та прилади контролю якості*. 2010. №24. С. 84–89.
12. Гуляк Р. Е. Методи визначення вагових коефіцієнтів при розрахунку таксономічних показників. *Харківська національна академія міського господарства*. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/29737/1/44.pdf> (дата звернення: 03.05.2023).
13. Полторац А.С. Підходи до розрахунку вагових коефіцієнтів індикаторів стану фінансової безпеки України. *Předněvědecké novinky: materiály XIV Mezinárodní vědecko – praktická konference*, м. Praha, 22 серп. 2018 р. Praha, 2018. – С. 10–12.
14. Єременко В.С., Осінцева М.Б. Застосування методу головних компонент в задачі аналізу спектрів вільних коливань. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2022. №4. – С.6–12. URL:<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-163-4-6-12> (дата звернення: 03.05.2023).
15. Котенко Т.Ю. Економічне моделювання взаємозв'язку операційних витрат та фінансового результату. *Культура народів Причорномор'я*. 2011. №205. – С. 50–55.
16. Волощук Р.В. Порівняльний аналіз підходів до визначення вагових коефіцієнтів інтегральних індексів стану складних систем. *Індуктивне моделювання складних систем*. 2013. №5. – С. 151–165.
17. Працьовитий М.В. Фрактальний аналіз та фрактальна геометрія. Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова. URL:<https://fmf.npu.edu.ua/nauka-na-fakulteti/naukovi-shkoly-fakultetu/129-science/naukovi-shkoly/875-fraktalniyi-analiz-ta-fraktalna-geometriia> (дата звернення: 03.05.2023).
18. Інтелектуальний аналіз даних: Конспект лекцій. Національний технічний університет "Дніпровська політехніка". URL:[https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/magistr/Intellectual_data_analysis\(Lecture\)_NMU_SAU.pdf](https://sau.nmu.org.ua/ua/osvita/metod/magistr/Intellectual_data_analysis(Lecture)_NMU_SAU.pdf) (дата звернення: 03.05.2023).
19. Попов И.А., Скворцов В.В., Мицитис А.К. Исследование и проектирование больших технических систем. Киев: КИВВС, 1995. – 252 с.

Надійшла до редколегії 10.10.2023

Схвалена до друку 10.11.2023

Відомості про авторів:

Мавренков Олексій Єфремович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідної лабораторії
Державного науково-дослідного інституту авіації, Київ,
Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6578-4833>

Матвійчук Сергій Віталійович

ад'юнкт
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2774-0378>

Information about the authors:

Mavrenkov Oleksii

Doctor of Technical Sciences
Senior Researcher
Head of Research Laboratory
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6578-4833>

Matviichuk Serhii

Adjunct
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2774-0378>

**CHOICE OF THE METHOD OF DETERMINING WEIGHT COEFFICIENTS OF INDICATORS
OF TECHNICAL PERFECTION IN ASSESSING THE TECHNICAL LEVEL OF SAMPLES
OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT**

O. Mavrenkov, S. Matviichuk

The results of the analysis of the existing methods of determining the weighting coefficients when evaluating the properties of various objects under investigation are presented. A classification scheme of the studied methods is proposed. The advantages and disadvantages of the considered methods and the prospects of their application to the evaluation of weight coefficients of samples of weapons and military equipment are determined. Analytical (formal) approaches to calculating the importance of properties of objects are analyzed. According to the results of the analysis, it is shown that almost every attempt to formalize the process of determining the weighting coefficients is subject to some intervention by experts. The considered methods of determining weighting coefficients show that there is a need for initial a priori information, the obtaining of which is based on the processing of a fairly large amount of expert information. As a result, most such methods are characterized by a rather significant component of subjectivism, which can negatively affect the final result of assessing the relative importance of factors. A conclusion was made about the expediency and priority of applying the sensitivity theory method for analytically determining the weighting coefficients of indicators of technical excellence (tactical and technical characteristics) of samples of weapons and military equipment as complex technical systems. A detailed description of the method of the theory of sensitivity is shown and the features of its application for evaluating the coefficients of weight of complex technical systems of samples of weapons and military equipment are determined. Further research by the authors using the described method for estimating weighting factors when choosing multi-functional unmanned aerial vehicles for the needs of the Armed Forces of Ukraine is determined.

Keywords: weighting coefficients, indicators of technical excellence, complex technical system, a sample of weapons and military equipment, analytical methods, qualimetry.