

Загорка І.О.

Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України, Київ

Вибір варіанта зразка озброєння за тактико-технічними характеристиками і вартістю з використанням методу послідовних поступок

Резюме. Розглянуте застосування методу послідовних поступок у методиці вибору варіанта зразка озброєння за тактико-технічними і вартісними характеристиками.

Ключові слова: варіанти зразка озброєння; вибір; характеристики; метод ранжирування; метод послідовних поступок.

Постановка проблеми. Під час прийняття рішення про створення нового зразка озброєння звичайно розглядається кілька його варіантів, які можуть відрізнятися принципами побудови, складом елементів, принципами функціонування тощо. При цьому з використанням аналітичних методів, моделювання, методів експертного оцінювання визначаються характеристики варіантів зразка озброєння, які можуть бути реалізовані в умовах його застосування. Під час вибору варіанта зразка озброєння для розробки за сукупністю визначених характеристик і показників вартості потрібно використовувати відповідну методику, розробка якої є важливим науковим і практичним завданням. Така методика також може використовуватися під час вибору зразка озброєння для закупівлі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Варіанти зразка озброєння під час прийняття рішення про його створення розглядаються як альтернативи.

Для порівняння (ранжирування) альтернатив або вибору з них найкращої альтернативи за чинниками, що характеризують їх перевагу, застосовується багато методів багатокритеріального аналізу.

У воєнній справі під час проведення досліджень часто застосовуються такі методи як аналіз ієрархій (МАІ) [1, 2], таксономії [3, 4], Парето [5], експертного оцінювання [6] та інші.

Застосування МАІ для порівняння альтернатив пов'язано з труднощами формування структури (ієрархії) моделі прийняття рішень, трудомісткою також є робота щодо підготовки до розв'язання задачі.

У таксономічних методах порівняння альтернатив здійснюється за відстанями між показниками, які характеризують

альтернативи і еталонний об'єкт, що досліджується. Відстані визначаються за правилами аналітичної геометрії. Еталонному об'єкту відповідають максимальні значення показників – стимуляторів і мінімальні значення показників – дестимуляторів.

Порівняння альтернатив за відстанями між показниками не у повній мірі відповідає фізичній сутності, а саме значущості відстаней для порівняння альтернатив. Це декілька компенсується врахуванням при визначенні відстаней коефіцієнтів важливості показників.

Метод Парето використовується для порівняння альтернатив при заданих критеріальних обмеженнях, що не завжди є прийнятним. Крім того, використання цього методу не завжди дозволяє отримати однозначне (єдине) розв'язання задачі порівняння альтернатив.

У практиці для порівняння альтернатив часто використовуються експертні методи упорядкування. Найбільш розповсюдженими методами упорядкування є: ранжирування, безпосереднього оцінювання, послідовне порівняння, попарне порівняння. Застосування цих методів пов'язане з впливом суб'єктивних поглядів експертів на результати розв'язання задачі.

Найбільш простим у реалізації та наочним під час вибору альтернативи вважається метод послідовних поступок [7, 8], який вимагає упорядкування за важливістю показників (чинників), що характеризують об'єкт дослідження.

Для підвищення обґрунтованості вибору варіанта зразка озброєння доцільно застосовувати декілька методів. Ураховуючи необхідність оцінювання важливості характеристик зразка озброєння, такими методами можуть бути таксономії і послідовних поступок. Застосування методу таксономії для порівняльного оцінювання

варіантів зразків озброєння за військово-технічним рівнем докладно наведено у праці [9]. Визначення порядку застосування методу послідовних поступок для вибору варіанта зразка озброєння потребує подальшого дослідження.

Мета статті полягає у розробленні методики вибору варіанта зразка озброєння за його характеристиками і вартістю з використанням методу послідовних поступок.

Виклад основного матеріалу. Застосування методу послідовних поступок для вибору варіанта зразка озброєння передбачає впорядкування тактико-технічних характеристик за важливістю. З метою

визначення еквівалентних варіантів зразка озброєння для кінцевої характеристики задається поступка.

Суть методу [7] полягає у виділенні спочатку безлічі варіантів зразка озброєння, які задовольняють відповідну поступку за найбільш важливою характеристикою.

Якщо такий варіант єдиний, то він вважається найкращим, якщо їх кілька, то з них виділяються ті, що задовольняють поступку за другою характеристикою і так далі.

Структурна схеми методики показана на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема методики

Варіанти зразка озброєння, сукупність тактико-технічних характеристик і показників вартості, які передбачається використати для

вибору раціонального варіанта, визначаються евристичним методом.

Тактико-технічні характеристики зразка озброєння за видами можна поділяти на

бойові, структурні, експлуатаційно-технічні, технологічні тощо. Для оцінювання важливості характеристик доцільно здійснити їх декомпозицію (рис. 2).

Відповідно до наведеної декомпозиції характеристики зразка озброєння Π_j ($j = \overline{1, n}$) поділяються на K видів B_r , $r = \overline{1, K}$.

Кожному виду B_r відповідає Z_r характеристик Π_{sr} ($s = \overline{1, Z_r}, r = \overline{1, K}$).

Загальна кількість характеристик для вибору варіанта озброєння дорівнює

$$n = \sum_r Z_r, \quad r = \overline{1, K}. \quad (1)$$

Для визначення коефіцієнтів важливості характеристик зразка озброєння можна використати експертний метод ранжирування [10].

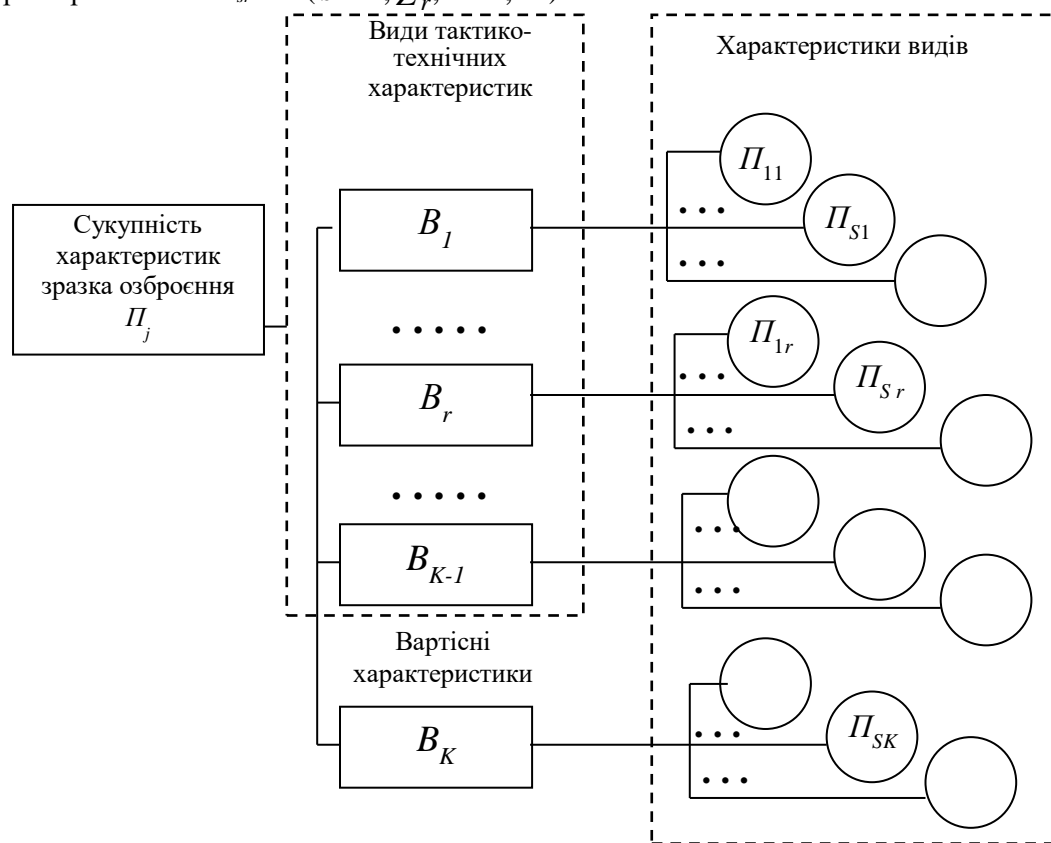


Рис. 2. Декомпозиція сукупності характеристик зразка озброєння

Ранжирування характеристик зразка озброєння пропонується здійснювати у два етапи. На першому етапі здійснюється ранжирування характеристик видів, на другому – видів характеристик.

Ранжирування – це процедура встановлення значущості характеристик зразка озброєння на підставі їх упорядкування. Ранг – це показник, який визначає порядкове місце характеристики у групі інших характеристик. Характеристиці виду, що найбільш впливає на значущість виду характеристик або виду характеристик, які більш впливають на якість зразка озброєння, надається перший ранг, а характеристиці або виду характеристик, що є найменш впливовими – останній ранг. Експерт має розташувати характеристики видів або види характеристик у порядку їх значущості і

приписати кожній характеристиці (виду характеристик) числа натурального ряду.

Ранг характеристики виду, виду характеристик визначається її (його) номером, якщо на її (його) місці у ряду відсутні будь-які інші. Коли на одному місці маємо декілька характеристик (видів характеристик), що не розрізняються (є зв'язані ранги), то ранг кожної (кожного) з них дорівнює середньоарифметичному їх нових номерів.

При використанні методу ранжирування на підставі гіпотези про лінійну залежність між рангом, що надається l – им експертом, і відносною цінністю (значущістю) характеристики (виду характеристик) визначаються коефіцієнти C_{srl} (C_{rl}) за формулами:

$$C_{srl} = 1 - \frac{P_{srl}^{-1}}{Z_r}; \quad s = \overline{1, Z_r}; \quad r = \overline{1, K}; \quad l = \overline{1, L}; \quad C_{rl} = 1 - \frac{P_{rl}^{-1}}{K}, \quad (2)$$

де p_{srl} - ранг, що надається l -м експертом s -ої характеристики r -го виду;
 p_{rl} - ранг, що надається l -им експертом r -му виду характеристик;
 L - кількість експертів.

Далі значення коефіцієнтів $C_{srl}(C_{rl})$ нормуються

$$a_{srl} = \frac{C_{srl}}{\sum_s C_{srl}}; \sum_s \dot{a}_{srl} = 1; \quad (3)$$

$$a_{rl} = \frac{C_{rl}}{\sum_r C_{rl}}; \sum_r \dot{a}_{rl} = 1.$$

Коли компетентність експертів однакова, коефіцієнти важливості s - их характеристик r - го виду (r - го виду характеристик) визначаються за формулами:

$$w_{sr} = e_{sr} d_r; \sum_r \sum_s w_{sr} = 1; r = \overline{1, K}; s = \overline{1, Z_r}. \quad (6)$$

Коефіцієнти важливості w_{sr} відповідають характеристикам Π_{sr} , які отримані шляхом декомпозиції сукупності характеристик зразка озброєння Π_j , $j = \overline{1, n}$. Це дає підставу упорядкувати характеристики Π_j за коефіцієнтами їх важливості w_j

$$\Pi_1 > \Pi_2 > \dots > \Pi_j > \dots > \Pi_n. \quad (7)$$

Кількісні значення x_{ji} характеристик Π_j визначаються для всіх варіантів зразка озброєння. Вартісні характеристики визначаються відповідно одиниці, якої відповідає мінімальне значення вартості.

Для застосування методу послідовних поступок кількісні характеристики потрібно привести до виду, коли їхні значення змінюються від нуля до одиниці, тобто здійснити їх нормування. Для цього характеристики поділяються на стимулятори і дестимулятори. Характеристики, збільшення значень яких обумовлює підвищення якості зразка озброєння, відносять до стимуляторів (Д), а зниження якості зразка озброєння – до дестимуляторів (Ф).

Нормування характеристик здійснюється за формулами:

$$U_{ij} = \frac{x_{ji}}{\max_i x_{ji}}, \text{ коли } \Pi_j \in D, i = \overline{1, m}, \quad (8)$$

$$U_{ij} = \frac{\min_i x_{ji}}{x_{ji}} \text{ коли } \Pi_j \in F.$$

Для кожної характеристики визначається величина припустимої поступки

$$e_{sr} = \frac{1}{L} \sum_l \dot{a}_{srl}; \quad (4)$$

$$d_r = \frac{1}{L} \sum_l \dot{a}_{rl}.$$

Коли компетентність l - го експерта оцінюється певним коефіцієнтом q_l , $\sum_l q_l = 1$,

то

$$e_{sr} = \sum_l q_l \dot{a}_{srl}; d_r = \sum_l q_l \dot{a}_{rl}. \quad (5)$$

Остаточно коефіцієнт важливості w_{sr} s - ої характеристики r - го виду визначається за формулою

ΔU_j , у межах якої варіанти зразка озброєння вважаються практично рівноцінними.

За нормованими величинами характеристик U_{ji} формується матриця $n \times m$ показників для m варіантів A_i зразка озброєння.

Вибір варіанта зразка озброєння зводиться до наступних операцій [7, 8]:

1. Визначається безліч варіантів зразка озброєння M_1 за першою характеристикою, яка задовольняє умові

$$\max_i U_{li} - U_{li} \leq \Delta U_1. \quad (9)$$

2. Для другої характеристики формується множина варіантів зразка озброєння M_2 за умовою

$$\max_{i \in M_1} U_{2i} - U_{2i} \leq \Delta U_2. \quad (10)$$

Якщо множина M_2 містить тільки один варіант, то він і вважається найкращим, якщо більш одного – то розглядаються варіанти за характеристикою Π_3 і т.д.

3. Якщо відповідно до схеми на рис. 1 всі характеристики послідовно розглянуто і отримано безліч варіантів M_n , що містять більше за один варіант, то рекомендується [7, 8] застосовувати два підходи:

змінити величину припустимої поступки ΔU_j , починаючи з першої за важливістю характеристики та повторити всі кроки розв'язання задачі;

надати особі, що приймає рішення, остаточний вибір кращого варіанту зразка озброєння.

Порядок застосування методики розглянуто на прикладі вибору найкращого

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ЗБРОЙНИХ СИЛ

(раціонального) варіанту зенітного ракетного комплексу (ЗРК) середньої дальності за бойовими характеристиками та вартістю його розробки і виробництва.

У Табл.1 приведені значення x_{ji} бойових і вартісних характеристик для 10 варіантів ЗРК.

Таблиця 1

Бойові і вартісні характеристики x_{ji} варіантів ЗРК

Позначення характеристик P_j	Характеристики ЗРК	Варіанти ЗРК, A_i									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_1	Дальня межа зони поразки аеродинамічних цілей, км	90	95	92	95	100	85	100	98	97	95
P_2	Дальня межа зони поразки оперативнотактичних і тактичних балістичних ракет, км	44	48	46	47	50	40	48	49	46	45
P_3	Верхня межа зони поразки, км	26	29	26	27	30	25	29	30	27	28
P_4	Нижня межа зони поразки, м	50	53	57	54	50	58	50	50	55	52
P_5	Імовірність поразки аеродинамічної цілі однією ракетою	0,70	0,72	0,75	0,80	0,78	0,75	0,70	0,79	0,77	0,74
P_6	Імовірність поразки балістичної цілі однією ракетою	0,56	0,60	0,58	0,57	0,60	0,54	0,55	0,56	0,50	0,57
P_7	Кількість одночасно обстрілюваних цілей	4	6	5	6	6	6	5	6	4	5
P_8	Час розгортання ЗРК, хв	5,0	5,2	5,1	5,3	6,0	5,0	5,8	5,0	5,3	5,2
P_9	Кількість зенітних керованих ракет у ЗРК	24	18	12	18	24	24	18	24	24	18
P_{10}	Вартість розробки ЗРК, ум. од.	1,00	1,05	1,05	1,03	1,06	1,00	1,07	1,06	1,10	1,04
P_{11}	Вартість виробництва ЗРК, ум. од.	1,03	1,17	1,12	1,03	1,06	1,00	1,05	1,04	1,10	1,03

З використанням експертного методу ранжирування визначаються коефіцієнти w_j важливості характеристик P_j . Враховуючі у прикладі невелику кількість характеристик, їх декомпозиція не здійснюється. У Табл. 2 наведені отримані коефіцієнти важливості характеристик зразка озброєння.

Таблиця 2

Коефіцієнти важливості характеристик зразка озброєння

Характеристики P_j	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}
Характеристики Важливості w_j	0,17	0,16	0,13	0,12	0,10	0,08	0,07	0,02	0,04	0,06	0,05

При упорядкуванні відповідно (7) за важливістю характеристикам надаються нові номери. Далі робиться поділ характеристик на стимулятори і де стимулятори та їх нормування за формулами (8).

Нормовані величини характеристик U_{ji} для варіантів ЗРК наведені у матриці (Табл. 3).

Таблиця 3

Матриця нормованих величин характеристик ЗРК

Нові номери	Старі номери	Варіанти ЗРК, A_i										Безліч рівноцінних варіантів ЗРК
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ЗБРОЙНИХ СИЛ

характеристик	характеристик											
P_1	P_1	0,90	0,95	0,92	0,95	1,00	0,85	1,00	0,98	0,97	0,95	$A_1 - A_5, A_7 - A_{10}$
P_2	P_2	0,88	0,96	0,92	0,94	1,00	0,80	0,96	0,98	0,92	0,90	$A_2 - A_5, A_7 - A_{10}$
P_3	P_3	0,86	0,96	0,86	0,90	1,00	0,83	0,96	1,00	0,90	0,93	$A_2, A_4, A_5, A_7 - A_{10}$
P_4	P_4	1,00	0,94	0,87	0,92	1,00	0,86	1,00	1,00	0,91	0,96	$A_2, A_4, A_5, A_7 - A_{10}$
P_5	P_5	0,86	0,90	0,94	1,00	0,97	0,94	0,86	0,98	0,96	0,92	$A_2, A_4, A_5, A_7 - A_{10}$
P_6	P_6	0,93	1,00	0,96	0,95	1,00	0,90	0,92	0,93	0,83	0,95	$A_2, A_4, A_5, A_8, A_{10}$
P_7	P_7	0,66	1,00	0,83	1,00	1,00	1,00	0,83	1,00	0,66	0,83	A_2, A_4, A_5, A_8
P_8	P_{10}	1,00	0,95	0,95	0,97	0,94	1,00	0,93	0,94	0,91	0,96	A_2, A_4, A_5, A_8
P_9	P_{11}	0,97	0,85	0,89	0,97	0,94	1,00	0,95	0,96	0,91	0,97	A_4, A_5, A_8
P_{10}	P_9	1,00	0,75	0,50	0,75	1,00	1,00	0,75	1,00	1,00	0,75	A_5, A_8
P_{11}	P_8	1,00	0,96	0,98	0,94	0,83	1,00	0,86	1,00	0,94	0,96	A_8

Величина припустимої поступки для всіх характеристик прийнята однаковою

$$\Delta U_j = 0,10, j = \overline{1, n}.$$

Відповідно до порядку застосування методу послідовних поступок визначається безліч варіантів ЗРК M_1 за першою характеристикою P_1 . При максимальному значенні нормованої характеристики $\max_{i \in M_1} U_i = 1,00$ відповідно (9) в цю безліч входять варіанти $A_1 - A_5, A_7 - A_{10}$ (Табл. 3).

З безлічі M_1 визначається безліч варіантів M_2 за другою характеристикою. При $\max_{i \in M_1} U_{2i} = 1,00$ в безліч варіантів M_2 входять $A_2 - A_5, A_7 - A_{10}$ (табл. 3).

Таким же чином визначено безліч варіантів ЗРК $M_3 - M_{11}$ для решта характеристик $P_3 - P_{11}$, результати наведені у

табл. 3. Найкращим визначено восьмий варіант ЗРК.

Висновки. Під час розроблення зразка озброєння звичайно розглядається кілька його варіантів, які відрізняються тактико-технічними характеристиками і вартісними показниками. На підставі використання методу послідовних поступок розроблено методику вибору найкращого зразка озброєння. Важливість характеристик визначається експертним методом ранжирування. Отриманий варіант зразка озброєння має бути основою для формування технічного завдання на його розробку. Порядок застосування методики показано на прикладі вибору варіанта ЗРК середньої дальності. У подальшому доцільно здійснити порівняння застосування методу послідовних поступок з іншими методами, зокрема таксономії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Саати Т. Аналитическое планирование: организация систем / Т. Саати, К. Кернс ; пер.с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М. : Радио и связь, 1991. – 224 с.
2. Городнов В.П. Теоретичні основи інформаційно-аналітичного забезпечення процесів охорони державного кордону (у контексті завдань національної безпеки України в прикордонній сфері): монографія / В.П. Городнов, М.М. Литвин, Д.В. Іщенко, В.А. Кириленко. – Хмельницький: Видавництво НАДПС України, 2009. – 473 с.
3. Плюта В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: методы таксономии и факторного анализа / В. Плюта. – М. : Статистика, 1980. – 151 с.
4. Тарасов В.М. Розвідувально-ударні, розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови в умовах реалізації концепції мережецентричних війн, оцінка ефективності бойового застосування) : монографія / за заг. ред. В.М. Телелима / В.М. Тарасов, Р.І. Тимошенко, О.М. Загорка. – К. : НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2015. – 184 с.
5. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – М.: Наука, 1981. – 107 с.
6. Бешелев С.Д. Экспертные оценки / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. – М. : Наука, 1973. – 160 с.
7. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / [Герасимов Б.М., Локазюк В.М., Оксіюк О.Г., Поморова О.В.] – К. : Європ. університет, 2007. – 335 с.
8. Герасимов Б.М. Проектування та застосування експертно-навчальних систем: монографія / Б.М. Герасимов, О.Г. Оксіюк, С.А. Шворов. – К. : Європ. університет, 2008. – 263 с.
9. Розробка методичних положень порівняльного оцінювання варіантів зразків озброєння за військово-технічним рівнем / [О.М. Загорка, П.В. Щипанський, А.К. Павліковський, А.А. Корецький, В.В. Биченков] // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2019. – Том 4 (Процеси управління). – №3 (100). – С.63-72.

10. Денисов А.А. Теория больших систем управления: Д.Н. Колесников. – Л. : Энергоиздат, 1982. – 288 с.
уч. пособ. для вузов / А.А. Денисов,

Стаття надійшла до редакційної колегії 14.10.2024

Selection of a weapon model option based on tactical and technical characteristics and cost using the method of successive concessions

Annotation

When deciding on the creation of a new weapon model, several variants are usually considered, which may differ in the principles of construction, composition of elements, principles of operation, etc. At the same time, analytical methods, modeling, and expert evaluation methods are used to determine the characteristics of the weapon system variants that can be implemented in the conditions of its use. When selecting a variant of a weapon system for development according to a set of defined characteristics and cost indicators, it is necessary to use an appropriate methodology, the development of which is an important scientific and practical task. Such a methodology can also be used when selecting a weapon system for procurement.

The purpose of the article is to develop a methodology for selecting a variant of a weapon model by its characteristics and cost using the method of sequential concessions.

The application of the method of sequential concessions for the selection of a weapon model variant involves the ordering of tactical and technical characteristics by importance. In order to determine equivalent versions of a weapon system, a concession is set for the final characteristic. The essence of the method is to first identify a set of variants of the weapon model that satisfy the corresponding concession for the most important characteristic. If there is only one such variant, it is considered the best, if there are several, then those that satisfy the concession for the second characteristic are selected, and so on. The article presents a structural diagram of the methodology.

In the future, it is planned to compare the use of the method of sequential concessions with other methods, in particular, taxonomy.

Keywords: weapon model variants; choice; characteristics; ranking method; method of successive concessions.