

УДК 519.81

В.М. Більчук

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ПРИ НЕЧІТКОМУ ОПИСУ ЇХ ІНФОРМАЦІЙНОГО РЕСУРСУ

Розглядається обґрунтування прийняття рішень особою, яка приймає рішення (ОПР), щодо визначення перспективних зразків озброєння за їх основними тактико-технічними характеристиками, які мають нечіткий опис.

перспективні зразки озброєння, нечіткий опис, інформаційний ресурс, особа, яка приймає рішення

Вступ

Постановка проблеми. Визначення перспективного зразка озброєння враховує перелік та зміст їх основних тактико-технічних характеристик, які складають його інформаційний ресурс. Чисельні значення характеристик прогнозуються. В умовах відсутності необхідної статистики щодо значень тактико-технічних характеристик та в умовах нестохастичної невизначеності характеристик, які характеризують ринок озброєнь та конкурентноздатність зразків озброєнь на ринку озброєнь, їх прогнозування може будуватись тільки на основі експертних даних. Експертиза може розглядатись в нечіткій постановці. Тому виникає необхідність вирішення актуальної проблеми: визначення перспективних зразків озброєння за прогнозованими значеннями їх основних тактико-технічних характеристик в нечіткій постановці.

Аналіз літератури. В [1] приведені основні тактико-технічні характеристики (ТТХ) озброєння та військової техніки Збройних Сил України (ЗСУ). Так, щодо Повітряних Сил наведені данні основних ТТХ зенітних ракетних комплексів чотирьох зразків, а саме: ЗРКС-300 ПТ, ЗРКС-300 ПС, ЗРКС-200В, ЗРК "Бук-М1". Ці данні можуть складати основну інформацію для експертів при прогнозуванні значень основних ТТХ ЗРК на $t = t_0 + \tau$, де t_0 – час прийняття рішення. В [2 – 5] розглянуті питання, які пов'язані з визначенням нечітких підмножин, поняття «системи» та «складності», визначено зміст метода аналізу ієрархій для рішення завдань багатокритеріальної оптимізації. В [6, 7] запропоновано метод формування доцільних стратегій модернізації та створення нових зразків озброєння та метод визначення показників ефективності та ризику прийняття рішень в умовах нестохастичної невизначеності. Аналіз зазначеної літератури дає змогу викреслити актуальну проблему, яка визначена вище, та сформулювати мету статті, яка досягається при вирішенні цієї проблеми.

Мета статті полягає в обґрунтуванні прийняття рішення, щодо визначення перспективних зразків озброєння при нечіткому опису їх інформаційного ресурсу.

Вирішення поставленого завдання

Кожний зразок озброєння визначається переліком і значеннями основних його ТТХ. Тому порівняльна оцінка декількох зразків озброєння пов'язана з постановкою та розв'язанням багатокритеріальної задачі оптимізації. Відомі методи розв'язання задачі багатокритеріальної оптимізації: виділення основного критерію, формування узагальненого критерію, послідовних поступок, аналізу ієрархій. Метод виділення основного критерію полягає в тому, що багатокритеріальна початкова задача зводиться до однокритеріальної задачі оптимізації, яку формулюють після того, коли отримують відповіді для задачі ранжування критеріїв та визначення обмежень для критеріїв $K_i(u)$, $i = \overline{1, n}$, $i \neq r$; $r \leq n$. Рівень довіри до отриманої відповіді як відповіді на початкову багатокритеріальну задачу визначається рівнем довіри до відповіді $K_r(u) > K_i(u)$, $i = \overline{1, n}$, $i \neq r$; $r \leq n$ задачі ранжування та підходу до визначення обмежень для критеріїв $K_i(u)$, $i = \overline{1, n}$, $i \neq r$; $r \leq n$. Метод формулювання узагальненого критерію при його застосуванні обмежений тим, що при розгляді прикладних задач складання узагальненого критерію викликає такі труднощі, які важко подолати. Метод послідовних поступок також потребує перш за все розв'язання задачі ранжування критеріїв і зведення їх виміру до однієї шкали, визначення величин поступок по кожному критерію. Метод аналізу ієрархій, який розглядається в [5, 7], з точки зору його застосування для розв'язання багатокритеріальних задач оптимізації різної фізичної природи яких би то було недоліків чи "незручностей" немає. Більш того критерії можуть відповідати чинникам, які відображають як кількісну так і якісну ознаку природи.

Перелік та зміст основних ТТХ зразка озброєння, який розглядається, складають його інформаційний ресурс. Згідно [1] до основних ТТХ ЗРК відносять: максимальну висоту ураження цілі (розмірність-метри), мінімальну висоту ураження цілі (розмірність-метри), швидкість цілі назустріч (розмірність-метри за секунду), швидкість цілі навздогін (розмірність-метри за секунду). При розгляді перспективних зразків ЗРК зазначені вище їх основні ТТХ будуть мати прогнозовані значення. Відзначимо що, якщо

дослідник має статистику, нехай, наприклад, щодо значень максимальної висоти ураження цілі, то задача прогнозування значення цієї ТТХ може бути поставлена та розв'язана в умовах стохастичної невизначеності. Згладжування стохастичних значень на момент часу $t_i < t_0$, $i = \overline{1, n}$, може бути виконано по методу найменших квадратів при допущенні прийнятої функціональної залежності значень цієї ТТХ від часу. Тоді задача прогнозування на термін часу $t = t_0 + \tau$ полягає в тому, що отримане згладжування значень ТТХ екстраполюють. Таке визначення прогнозних значень передбачає допущення, які полягають в тому, що сукупність чинників, яка визначала статистичні значення ТТХ, залишається не змінною на прогнозований термін часу τ . При такому допущенні довгострокове прогнозування значень ТТХ не може вважатись задовільним. Якщо дослідник не має статистики чи вона обмежена, то прогнозування значень ТТХ зразків озброєння, як це має місце при прогнозуванні значень ТТХ ЗРК, слід розглядати в умовах нестохастичної невизначеності.

В умовах нестохастичної невизначеності прогнозування значень ТТХ ЗРК можливе тільки на основі постановки експертизи та обробці експертних даних. При організації експертизи розв'язується задача прийняття рішень $\langle \Omega, ОП \rangle$, де Ω – множина оцінок значень ТТХ, які допускаються, а ОП – принцип оптимальності, який виражає визначення щодо найбільш точної оцінки. При формуванні множини Ω дослідник керується узагальненими уявленнями щодо значень окремої характеристики ЗРК. Такими уявленнями експерт, як правило, не керується, бо він їх не має. Тому при постановці експертизи експерт практично розв'язує задачу $\langle \Omega_1, ОП_1 \rangle$, де Ω_1 – множина оцінок значень ТТХ експерта, а ОП₁ – принцип оптимальності експерта. Дослідник складає схему експертизи, яка враховує: Ω , Ω_1 наявність зв'язку між експертами, наявність зворотнього зв'язку, метод обробки експертних даних. Прийняття дослідником тієї чи іншої схеми експертизи пов'язано з його бажанням щодо підвищенням точності прогнозової оцінки. З цією метою дослідник може запропонувати таку схему експертизи, в якій кожний ℓ -й експерт свою суб'єктивну думку відносно прогнозного значення ТТХ зразка озброєння висловлює у чіткій постановці трьома оцінками: песимістичною, найбільш очікуваною та оптимістичною. Подальше підвищення довіри до суб'єктивних оцінок експертів може полягати в нечітких оцінках прогнозних значень ТТХ. Це реалізується тоді, коли кожний експерт висловлює свою думку відносно прогнозного значення ТТХ у вигляді нечіткого трикутного числа.

Нечітке число \tilde{A} на дійсній прямій – це нечітка підмножина, яка характеризується функцією приналежності $\mu_{\tilde{A}}(x) : \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$. Нечітке число \tilde{A} подають у вигляді

$$\tilde{A} = \int (\mu_{\tilde{A}}(x) / x), \quad (1)$$

де $\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]$ – ступінь приналежності $x \in \mathbb{R}$ підм-

ножини \tilde{A} , \int – символ об'єднання за всіма $x \in \mathbb{R}$.

Із визначення (1) випливає, що нечітке число \tilde{A} на дійсній прямій випукле, тобто для будь яких дійсних чисел $x, y, z \in \mathbb{R}$ та $x \leq y \leq z$ маємо, що

$$\mu_{\tilde{A}}(y) \geq \min(\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(z))$$

та є нормальним, тобто $\max_{x \in \mathbb{R}} \mu_{\tilde{A}}(x) = 1$.

Тоді прогнозування значення k -тої ТТХ зразка озброєння описується нечітким трикутним числом (нечіткою підмножиною), функція приналежності якого має вигляд

$$\mu_{\tilde{C}_k}(x) = \begin{cases} (x - (C_k - \delta_1)) / \delta_1 & \text{при } C_k - \delta_1 \leq x \leq C_k; \\ ((C_k + \delta_2) - x) / \delta_2 & \text{при } C_k \leq x \leq C_k + \delta_2; \\ 0 & \text{при } 0 \leq x \leq C_k - \delta_1, x \geq C_k + \delta_2; \end{cases} \quad (2)$$

та подана на рис. 1.

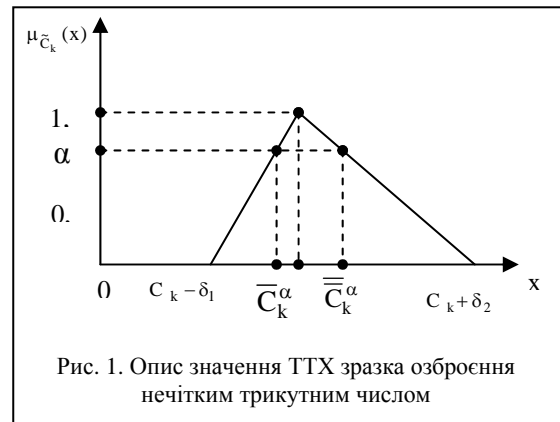


Рис. 1. Опис значення ТТХ зразка озброєння нечітким трикутним числом

Схема експертизи передбачає, що кожний ℓ -й експерт висловлює свою суб'єктивну думку у вигляді трьох значень щодо C_k -ої ТТХ зразка озброєння, а саме: $(C_k^{(\ell)} + \delta_1^{(\ell)})$ – песимістичну оцінку; $C_k^{(\ell)}$ – оцінку, яка найбільш очікується; $(C_k^{(\ell)} + \delta_2^{(\ell)})$ – оптимістичну оцінку. Потім ці оцінки відповідно усереднюються з урахуванням вагових коефіцієнтів експертів та утримують опис ℓ -ої ТТХ у вигляді (2).

Якщо прийняти $\mu_{\tilde{C}_k}(x) = \alpha$, то визначаються чіткі α -рівневі підмножини $\{C_k^\alpha = \overline{C}_k^\alpha, \dots, \overline{\overline{C}}_k^\alpha\}$, де $\overline{C}_k^\alpha, \overline{\overline{C}}_k^\alpha$ – відповідно ліва та права границі значення C_k -ої ТТХ зразка озброєння. Виходячи із змісту нечіткої підмножини \tilde{C}_k дослідник приймає $\alpha \geq \alpha_{н.д.}$ – рівень необхідної довіри прогнозних значень C_k -ої ТТХ, наприклад, $\alpha_{н.д.}$ може визначатись як $\alpha_{н.д.} = 0,5$.

З метою визначень за прогнозованими значеннями основних ТТХ в нечіткій постановці перспективних зразків озброєння, на прикладі ЗРК, розглянемо наступну можливу декомпозицію проблеми в ієрархію, яка представлена на рис. 2.



Як це визначено на рис. 2, декомпозиція проблеми в ієрархію має три рівня: рівень перший відповідає меті, яка досягається при вирішенні проблеми; рівень другий включає показники (критерії), за якими повинна прийматися та чи інша альтернатива щодо перспективного зразка ЗРК; рівень третій відповідає переліку альтернатив, який за думкою ОПР складає повну їх множину. Таким чином, декомпозиція проблеми в ієрархію відображає зміст багатокритеріальної задачі оптимізації, яка має особливість: нечіткий опис прогнозних значень C_k основних ТТХ ЗРК (показники C_1, C_2, C_3, C_4), які мають чітко виражену кількісну природу та вимірюються у відповідних величинах; нечіткий прогнозний опис показника „вартості виготовлення зразка ЗРК” (показник C_5), який може бути віднесений як до кількісної природи, так і до якісної природи; нечіткий прогнозований опис показників „необхідність на ринку озброєнь”, „конкурентоздатність”, які мають чітко виражену якісну природу. Вище відзначено, що показники, які мають кількісну природу, слід прогнозувати в нечіткій постановці та прогнозні їх значення описувати нечіткими трикутними числами. Показники, які мають якісну природу, слід прогнозувати на підставі введення до розгляду відповідних лінгвістичних змінних. Згідно [3, 7] під лінгвістичною змінною розуміють кортеж $\langle \beta, T(\beta), G, M \rangle$, де β – назва лінгвістичної змінної; $T(\beta)$ – терм-множина лінгвістичної змінної, елементи якої $\gamma_i, i = \overline{1, n}$, є назва нечіткої змінної $\langle \gamma, X, \tilde{C}(\gamma) \rangle$, як лінгвістичних значень лінгвістичної змінної, де X – область визначення нечіткої змінної, $\tilde{C}(\gamma) = \{ \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x) / x \}$, $x \in X$, $\mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x)$ – значення функції приналежності нечіткої підмножини $\tilde{C}(\gamma)$; G – синтаксичне правило, яке породжує назву нечіткої змінної $\gamma \in T(\beta)$ як вербальних значень лінгвістичної змінної; M – синтаксичне правило, яке ставить у відповідність кожній нечіткій змінній $\gamma \in T(\beta)$ нечітку підмножину $\tilde{C}(\gamma)$.

Відносно нечіткого показника „необхідність на ринку озброєння”, може бути визначена лінгвістична змінна β_n – «необхідність», а терм-множина $T(\beta_n)$ може визначатись двома нечіткими змінними: $\gamma_{n,1}$ –

„низька необхідність” та $\gamma_{n,2}$ – „висока необхідність”. Відносно нечіткого якісного показника „конкурентоспроможність” може бути визначена лінгвістична змінна β_k – „конкурентоспроможність”, а терм-множина $T(\beta_k)$ може визначатись трьома нечіткими змінними: $\gamma_{k,1}$ – „допустима конкурентоспроможність”, $\gamma_{k,2}$ – „значна конкурентоспроможність”, $\gamma_{k,3}$ – „висока конкурентоспроможність”.

Визначення функцій приналежностей нечітких змінних $\gamma_{n,1}, \gamma_{n,2}$ лінгвістичної змінної β_n та нечітких змінних $\gamma_{k,1}, \gamma_{k,2}, \gamma_{k,3}$ лінгвістичної змінної β_k досягається шляхом постановки експертизи та обробки експертних даних. Кожний ℓ -й експерт, $\ell = \overline{1, L}$, висловлює своє суб’єктивне судження про таке: у скільки разів значення функції приналежності $\mu_{\tilde{C}(\gamma_{n,1})}(x_i)$, наприклад, розглядається нечітка підмножина $\tilde{C}(\gamma_{n,1})$ нечіткої змінної $\gamma_{n,1}$, більше значення функції приналежності $\mu_{\tilde{C}(\gamma_{n,1})}(x_j)$; $x_i, x_j \in X$; $i, j = \overline{1, n}$, X – область визначення лінгвістичної змінної β_n . Таке судження експерт подає, виходячи із якісної шкали оцінок, яка зазначена в [5] та подана в табл. 1.

Бінарні порівняння $\mu_{\tilde{C}(\gamma_{n,1})}(x_i)$ та $\mu_{\tilde{C}(\gamma_{n,1})}(x_j)$ за такою шкалою експерти подають у вигляді матриці $A(\ell) = \| a_{ij}(\ell) \|$, $\ell = \overline{1, L}$; $i, j = \overline{1, n}$. Потім матриці $A(\ell)$ усереднюються та розкладається матриця $A = \| a_{ij} \|$, $i, j = \overline{1, n}$. Для всякої квадратної A їй відповідне матричне рівняння $AY^T = \lambda Y$, яке дає змогу визначити їй відповідні власні числа $\lambda_q, q = \overline{1, G}$ як корені характеристичного рівняння $A - \lambda E = 0$, де E – одинична матриця. Кожному власному числу λ_q відповідає власний вектор Y_q . Якщо для матриці A маємо, що $a_{ij} > 0$; $a_{ji} = 1/a_{ij}$; $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk}$; $i, j, k = \overline{1, n}$, тобто матриця A є невід’ємною, зворотньосиметричною та погодженою, то рівняння $A - \lambda E = 0$ має один корінь $\lambda = \lambda_{\max} = n$. Йому відповідає єдиний власний вектор Y . Тому, якщо суб’єктивні судження експер-

Якісна шкала оцінок

| Якісна оцінка | Визначення якісної оцінки | Тлумачення якісної оцінки |
|--|--|---|
| 0 | Непорівнювальні | Немає сенсу порівнювати елементи |
| 1 | Однакове значення | Рівний внесок елементів, щодо досягнення мети |
| 3 | Незначна перевага | Є перевага одного елемента над другим, але вона невелика |
| 5 | Є перевага | Є перевага одного елемента над другим |
| 7 | Значна перевага | Є значна перевага одного елемента над другим |
| 9 | Дуже значна перевага | Цілком підтверджується значна перевага одного елемента над другим |
| 2, 4, 6, 8 | Проміжні оцінки між двома сусідніми | Застосовується у випадку компромісу |
| Зворотні величини відносно зазначених вище | Якщо при порівнянні першого елемента з другим визначено, наприклад 3, то при порівнянні другого елемента з першим визначається 1/3 | |

тів відносно $\tilde{C}(\gamma_i) = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\gamma_i)}(x) / x \right\}$, $x \in X$, $i = \overline{1, 5}$ для $\gamma_{n,1}; \gamma_{n,2}; \gamma_{k,1}; \gamma_{k,2}; \gamma_{k,3}$ будуть надані невід’ємною, зворотньоюсиметричною та погодженою матрицею, то рішення рівняння $A\mu^T = n\mu$ дозволяє визначити вектор $\mu = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x) \right\}$, а чисельну міру розходження λ_{\max} та n буде визначати чисельну міру погодженості суджень експертів. Кожний ℓ -й експерт, користуючись якісною шкалою, яка зазначена вище, висловлює своє судження відносно функції приналежності $\mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_j)$; $i, j = \overline{1, n}$; $x_i, x_j \in X$.

А якщо $a_{i,j}^{(\ell)} = \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_i) / \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_j)$; $a_{i,k}^{(\ell)} = 1 / a_{i,j}^{(\ell)}$; $a_{ik}^{(\ell)} = a_{ij}^{(\ell)} a_{jk}^{(\ell)}$, то $a_{ij}^{(\ell)} > 0$; $a_{ii}^{(\ell)} = 1$; $i, j = \overline{1, n}$.

Тобто матриця $A^{(\ell)}$, а, значить, матриця A відповідає зазначеним вище властивостям, а саме: невід’ємні, зворотньоюсиметричні та погоджені.

Якщо $\sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_i) = 1$, то

$$\sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_i) / \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_j) = 1 / \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_j) = k_j,$$

а значить, згідно рівняння $A\mu^T = \lambda_{\max} - \mu$ можна формувати вектор $\mu = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_j) \right\}$, $j = \overline{1, n}$ бо

$$\mu_{\tilde{C}(\gamma)}(x_j) = 1 / k_j.$$

В загальному випадку, отриманий вектор μ може не задовольняти рівнянню $A\mu^T = n\mu$, бо погодженість невід’ємної зворотньоюсиметричної матриці відповідає вимозі $\lambda_{\max} = n$. Завжди $\lambda_{\max} \geq n$. Відхилення від погодження оцінюють по співвідношенню $\eta = (\tilde{\lambda}_{\max} - n) / (n - 1)$ бо при бінарному порівнянні n елементів висловлюються $(n - 1)$ суджень, а $\tilde{\lambda}_{\max}$ є середнє значення компонент $\tilde{\lambda}_{\max}$, які отримують при по елементному діленні компонент вектора $A\mu^T$ на компоненти вектора μ . Якщо η не відповідає вимогам щодо точності, то матриця A поправля-

ється з урахуванням отриманого вектора μ . Визначені вектори $\mu_i = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\gamma_i)}(x_j) \right\}$, $j = \overline{1, n}$; $i = \overline{1, 5}$, які відповідають нечітким змінним $\gamma_{n,1}; \gamma_{n,2}$ лінгвістичної змінної β_n та $\gamma_{k,1}; \gamma_{k,2}; \gamma_{k,3}$ лінгвістичної змінної β_k , нормуються. Графічне подання функцій приналежностей нечітких підмножин, які відповідають відзначеним тут нечітким змінним, надано на рис. 3 та 4.

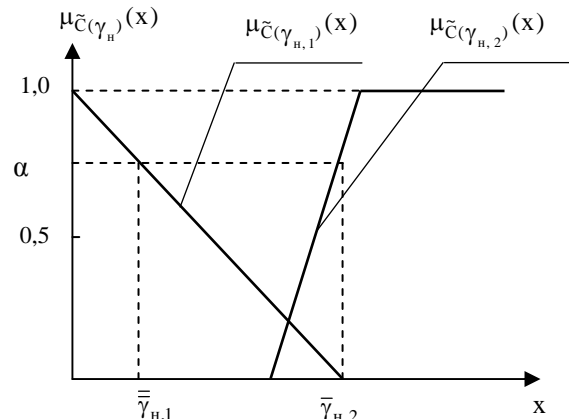


Рис. 3. Функції приналежності нечітких змінних $\gamma_{n,1}; \gamma_{n,2}$

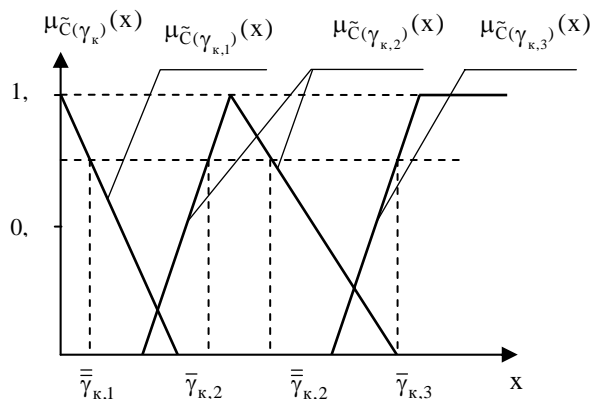


Рис. 3. Функції приналежності нечітких змінних $\gamma_{k,1}; \gamma_{k,2}; \gamma_{k,3}$

В якості розмірності області визначення X лінгвістичної змінної β_n - "необхідність на ринку озброєн-

ня", може прийматись вартість одиниці перспективного зразка ЗРК на ринку, а в якості розмірності області визначення X лінгвістичної змінної β_k – "конкурентноспроможність", може виступати відношення вартості одиниці перспективного зразка ЗРК на ринку опонента до вартості одиниці перспективного зразка ЗРК на ринку оперуючої сторони (сторона, за яку розглядається вирішення проблеми).

Для отримання функцій приналежності нечітких змінних $\gamma_{н,1}; \gamma_{н,2}; \gamma_{к,1}; \gamma_{к,2}; \gamma_{к,3}$ також слід визначити рівень функцій при належностей

$$\alpha = \mu_{\tilde{c}(\gamma_{н,1})}(x) = \mu_{\tilde{c}(\gamma_{н,2})}(x) = \mu_{\tilde{c}(\gamma_{к,1})}(x) = \mu_{\tilde{c}(\gamma_{к,2})}(x) = \mu_{\tilde{c}(\gamma_{к,3})}(x),$$

якому будуть відповідати наступні чіткі множини:

для $\gamma_{н,1} - \{0, \dots, \bar{\gamma}_{н,1}\}$; для $\gamma_{н,2} - \{\bar{\gamma}_{н,2}, \dots, \bar{\gamma}_{н,2} > \bar{\gamma}_{н,2}\}$;

для $\gamma_{к,1} - \{0, \dots, \bar{\gamma}_{к,1}\}$; для $\gamma_{к,2} - \{\bar{\gamma}_{к,2}, \dots, \bar{\gamma}_{к,2}\}$;

для $\gamma_{к,3} - \{\bar{\gamma}_{к,3}, \dots, \bar{\gamma}_{к,3} > \bar{\gamma}_{к,3}\}$.

Тоді згідно, зазначеної на рис. 2 декомпозиції проблеми в ієрархію всі показники (критерії), яка б природа у них не була: кількісна чи якісна, будуть визначені у нечіткій постановці та враховуватися у подальшому розгляді в якості чітких множин (інтервалів)

при прийнятому значенні α їх функцій приналежностей. При прийнятому рівні α визначимо згідно метода аналізу ієрархій пріоритетний прогнозований зразок ЗРК за показниками $C_1^\alpha, C_2^\alpha, C_3^\alpha, C_4^\alpha, C_5^\alpha$, які описуються інтервалами $\{\bar{C}_k^\alpha, \dots, \bar{\bar{C}}_k^\alpha\}$, $k = \bar{1}, \bar{5}$ та показниками C_6^α, C_6^α , для яких розглянемо відповідно інтервалами $\gamma_{н,2}^\alpha = \{\bar{\gamma}_{н,2}^\alpha, \dots, \bar{\bar{\gamma}}_{н,2}^\alpha\}$ та $\gamma_{к,3}^\alpha = \{\bar{\gamma}_{к,3}^\alpha, \dots, \bar{\bar{\gamma}}_{к,3}^\alpha\}$.

Будемо вважати, що використовуючи інформацію щодо основних ГТХ ЗРК, яка приведена в [1], проведена експертиза з метою визначення прогнозованих значень кожної характеристики ЗРК. При обробці експертних даних значення кожної характеристики представлені нечіткою підмножиною (нечітким трикутним числом). Щодо показників "висока необхідність на ринку озброєння" та "висока конкурентноздатність" розглянуті відповідні лінгвістичні змінні. Для визначення нечітких змінних лінгвістичних змінних побудовані функції приналежності. Для трьох можливих перспективних зразків ЗРК чіткі множини зміни значень показників при прийнятому рівні α функцій приналежностей приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення показників ГТХ для перспективних зразків ЗРК

| показники зразок ЗРК | C_1^α тис.м | C_2^α м | C_3^α м/сек | C_4^α м/сек | C_5^α міл.у.о. | $\gamma_{н,2}^\alpha$ міл.у.о. | $\gamma_{к,3}^\alpha$ |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| ЗРК-1 | 25, ..., 30 | 20, ..., 30 | 1000, ..., 1200 | 450, ..., 550 | 25, ..., 30 | 65, ..., 70 | 0,8, ..., 1,3 |
| ЗРК-2 | 22, ..., 26 | 10, ..., 15 | 2500, ..., 3000 | 430, ..., 480 | 20, ..., 25 | 50, ..., 60 | 1,8, ..., 2,5 |
| ЗРК-3 | 35, ..., 40 | 30, ..., 50 | 4500, ..., 5000 | 400, ..., 420 | 30, ..., 35 | 40, ..., 50 | 1,1, ..., 1,5 |

Згідно методу аналізу ієрархій вирішення вище зазначеної проблеми, передбачається виявлення порівняльної важності показників. Бінарне порівняння показників, які є результатом експертизи, а показники складають другий рівень ієрархії, подані в табл. 3 за якісною шкалою. При складенні значень елементів табл. 3 експерти керувались думкою: у скільки разів показник, який розглядається, більш суттєвий (ваго-

мий) по відношенню до іншого показника з точки зору мети, яка полягає у визначенні прогнозованого перспективного зразка ЗРК. В табл. 3 зазначена матриця $A = \|a_{i,j}\|$, $i, j = \bar{1}, \bar{7}$, рішення матричного рівняння $A\mu^T = \lambda_{\max} \mu$ дає власний вектор, який має константи $\mu = \{0,029; 0,039; 0,051; 0,073; 0,436; 0,149; 0,11\}$.

Таблиця 3

Бінарне порівняння показників ЗРК

| Загальні вимоги до прогнозованого пріоритетного зразка ЗРК | C_1^α тис.м | C_2^α м | C_3^α м/сек | C_4^α м/сек | C_5^α міл.у.о. | $\gamma_{н,2}^\alpha$ міл.у.о. | $\gamma_{к,3}^\alpha$ |
|--|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| C_1^α – максимальна висота ураження цілі | 1 | 1/3 | 1/4 | 1/7 | 1/5 | 1/9 | 1/5 |
| C_2^α – мінімальна висота ураження цілі | 3 | 1 | 1/4 | 1/3 | 1/5 | 1/9 | 1/3 |
| C_3^α – швидкість цілі назустріч | 4 | 4 | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/7 | 1/3 |
| C_4^α – швидкість цілі навздогін | 7 | 3 | 5 | 1 | 1/4 | 1/5 | 1/3 |
| C_5^α – вартість озброєння | 5 | 5 | 3 | 4 | 1 | 5 | 9 |
| $\gamma_{н,2}^\alpha$ – висока необхідність на ринку озброєння | 9 | 9 | 7 | 5 | 1/5 | 1 | 8 |
| $\gamma_{к,3}^\alpha$ – висока конкурентність | 5 | 3 | 3 | 3 | 1/9 | 1/8 | 1 |

Нормований вектор $\mu_i^{h,\alpha} = \mu_i^\alpha / \sum_{i=1}^7 \mu_i^\alpha, i = \overline{1,7}$

має вигляд $\mu^{h,\alpha} = \{0,03; 0,05; 0,06; 0,07; 0,51; 0,15; 0,13\}$, де відзначено, що результат $\mu^{h,\alpha}$ відповідає прийняттю для всіх показників рівню α функцій приналежностей їм відповідним нечітким підмножинам $\tilde{C}(\gamma_i), i = \overline{1,7}$.

Розглянемо бінарні відношення переваг прогнозованих перспективних зразків озброєння ЗРК, які складають зміст третього рівня ієрархії, з точки зору того чи іншого показника, які складають зміст другого рівня ієрархії. Такі сім матриць подані в табл. 4. Там же зазначені власні вектори $\mu_i^{h,\alpha}, i = \overline{1,7}$ відповідних матриць. Бінарні порівняння та третьому рівні ієрархії експерти проводять керуючись думкою: у скільки разів зразок ЗРК, який розглядається, є доцільним по відношенню до іншого з точки зору прийняття рішення

щодо перспективного ЗРК, який прогнозується, окремо за кожним показником другою рівня ієрархії.

З метою утримання узагальних показників щодо пріоритетного зразка ЗРК реалізується принцип синтезу, згідно якого компонента вектора пріоритетів щодо прогнозованого зразка ЗРК визначається за виразом

$$\mu_k^{h,\alpha} = \sum_{i=1}^7 \mu_{i,k}^{h,\alpha} \mu_i^{h,\alpha}, k = \overline{1,3},$$

де $\mu_{i,k}^{h,\alpha}$ – нормоване значення k-ї компоненти вектора пріоритету зразків ЗРК за i-м показником, значення якого визначені α -рівневим чітким інтервалом функції приналежності; $\mu_i^{h,\alpha}$ – нормоване значення i-ї компоненти вектора пріоритетів показників, за якими приймається рішення щодо доцільного перспективного зразка ЗРК, та значення яких визначено α -рівневим інтервалом. Для підрахування компоненти μ_k^α дані, отримані в табл. 3 та 4, зручно надати табл. 5.

Таблиця 4

Бінарні порівняння зразків ЗРК у відповідності до їх показників

| | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|--------------------|----------------|-------|-------|-------|--------------------|
| C_1^α | ЗРК-1 | ЗРК-2 | ЗРК-3 | $\mu_1^{h,\alpha}$ | C_5^α | ЗРК-1 | ЗРК-2 | ЗРК-3 | $\mu_5^{h,\alpha}$ |
| ЗРК-1 | 1 | 3 | 1/5 | 0,16 | ЗРК-1 | 1 | 1/3 | 5 | 0,26 |
| ЗРК-2 | 1/3 | 1 | 1/7 | 0,09 | ЗРК-2 | 3 | 1 | 7 | 0,68 |
| ЗРК-3 | 5 | 7 | 1 | 0,75 | ЗРК-3 | 1/5 | 1/7 | 1 | 0,08 |
| C_2^α | ЗРК-1 | ЗРК-2 | ЗРК-3 | $\mu_2^{h,\alpha}$ | $\gamma_{h,2}$ | ЗРК-1 | ЗРК-2 | ЗРК-3 | $\mu_6^{h,\alpha}$ |
| ЗРК-1 | 1 | 1/3 | 5 | 0,24 | ЗРК-1 | 1 | 1/3 | 1/7 | 0,09 |
| ЗРК-2 | 3 | 1 | 9 | 0,69 | ЗРК-2 | 3 | 1 | 1/3 | 0,23 |
| ЗРК-3 | 1/5 | 1/9 | 1 | 0,07 | ЗРК-3 | 7 | 3 | 1 | 0,68 |
| C_3^α | ЗРК-1 | ЗРК-2 | ЗРК-3 | $\mu_3^{h,\alpha}$ | $\gamma_{h,3}$ | ЗРК-1 | ЗРК-2 | ЗРК-3 | $\mu_7^{h,\alpha}$ |
| ЗРК-1 | 1 | 1/5 | 1/9 | 0,07 | ЗРК-1 | 1 | 1/7 | 1/3 | 0,09 |
| ЗРК-2 | 5 | 1 | 1/7 | 0,13 | ЗРК-2 | 7 | 1 | 5 | 0,71 |
| ЗРК-3 | 9 | 7 | 1 | 0,8 | ЗРК-3 | 3 | 1/5 | 1 | 0,2 |
| C_4^α | ЗРК-1 | ЗРК-2 | ЗРК-3 | $\mu_4^{h,\alpha}$ | | | | | |
| ЗРК-1 | 1 | 3 | 5 | 0,65 | | | | | |
| ЗРК-2 | 1/3 | 1 | 3 | 0,23 | | | | | |
| ЗРК-3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 0,12 | | | | | |

Таблиця 5

Узагальнення щодо зразків ЗРК

| | | | | | | | | |
|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| | C_1^α | C_2^α | C_3^α | C_4^α | C_5^α | $\gamma_{h,2}^\alpha$ | $\gamma_{h,3}^\alpha$ | $\mu_1^{h,\alpha}$ |
| | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,51 | 0,15 | 0,13 | |
| ЗРК-1 | 0,16 | 0,24 | 0,07 | 0,65 | 0,24 | 0,09 | 0,09 | 0,257 |
| ЗРК-2 | 0,09 | 0,69 | 0,12 | 0,23 | 0,68 | 0,23 | 0,74 | 0,526 |
| ЗРК-3 | 0,75 | 0,07 | 0,81 | 0,11 | 0,08 | 0,68 | 0,16 | 0,220 |

Тоді слід прийняти рішення: із трьох зразків ЗРК, які розглядаються як перспективні при прогнозуванні необхідно ЗРК-2 за всіма прийнятими показниками признати найбільш доцільним.

Якщо η – кількість нечітких змінних усіх лінгвістичних змінних, що відповідає кількості показників якісної природи, які введені до розгляду, то якщо розглядаються α -рівневі чіткі множини значень усіх показників при $0,5 < \alpha \leq 1$ з шагом, наприклад $\Delta\alpha = 0,1$ то доцільним зразком озброєння, з урахуванням нечіткої природи значень показників, необхідно прийняти той для якого досягається $\sup_{\eta} \sup_{\alpha} \max_k \mu_k^{\alpha,\eta}$.

Прийняття такого чіткого рішення в умовах нечіткого середовища, як відзначено в [6,7], має відповідні значення показників ефективності та ризику. В нашому випадку слід усі функції і приналежності показників як кількісної природи так і якісної природи привести їх значення області визначення до однієї шкали виміру, наприклад, визначити ці значення у відносних величинах. Тоді показником ефективності прийняття рішення буде виступати міра чіткості перерізу нечітких підмножин, які відповідають введених до розгляду показників перспективних прогнозованих зразків озброєння. Функція приналежності визначається як

$$\mu_{\tilde{W}} = \min_{x \in X} \bigcap_{i=1}^n \left\{ \mu_{\tilde{C}(\gamma_i)}(x) / x \right\},$$

а показники ефективності та ризику прийняття рішення як

$$E(\tilde{W}, \tilde{W}) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \mu_{\tilde{W}}(x_i) - \mu_{\tilde{W}}(x_i) \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}};$$

$$R(\tilde{W}, \tilde{W}) = 1 - E(\tilde{W}, \tilde{W}),$$

де $\mu_{\tilde{C}(\lambda_i)}(x)$ – функція приналежності нечіткої підмножини $\tilde{C}(\gamma_i)$; γ_i – показники(критерія); \tilde{W} – нечітка підмножина, яка є доповненням до нечіткої підмножини \tilde{W} .

Висновки

Прийняття рішення щодо доцільного прогнозованого зразка озброєння необхідно визначати за сукупністю основних показників(критеріїв), які можуть мати як кількісну (основні ТТХ), так і якісну природу. Прогнозні значення показників необхідно визначати в умовах нестационарної невизначеності. При цьому показники кількісної природи можуть бути визначені нечіткими трикутними числами, які реалізують високу довіру до суб'єктивних суджень експертів. Показники якісної природи доцільно подавати лінгвістичними змінними. Значення показників якісної природи, які прогнозуються, необхідно розглядати для всіх, введених до розгляду, нечітких змінних терм-множин лінгвістичних змінних. Для будь-якої нечіткої змінної введення до розгляду чіткої

множини значень як носіїв α -рівня її функції приналежності дозволяє звести до єдиного тлумачення прогнозні значення показників кількісної та якісної природи в умовах нестационарної невизначеності.

Список літератури

1. Біла книга 2005: оборонна політика України / Авторський колектив МО та ГШ Збройних Сил України. Редакція центру Розумкова. – К.: МО України, 2006. – 134 с.
2. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10-ти томах. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.
4. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Рональда Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 406 с.
5. Більчук В.М. Метод формування доцільних стратегій модернізації та створення нових зразків озброєння // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 2 (2). – С. 39-46.
6. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
7. Більчук В.М., Десятов О.В., Николаева И.С. Метод определения показателей эффективности и риска принятия решений при проведении операции в условиях нестационарности неопределенности // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2003. – Вип. 3. – С. 11-22.

Надійшла до редколегії 21.11.2006

Рецензент: д-р техн. наук, професор Ю.В. Стасєв, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.