

УДК: 519.81

В.М. Більчук

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ДОЦІЛЬНИХ СТРАТЕГІЙ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА СТВОРЕННЯ НОВИХ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄНЬ

Розглядається формування стратегій в умовах нестохастичної невизначеності. Вибір доцільних стратегій модернізації та створення нових зразків озброєнь проводиться за показниками ефективності й ризику прийняття рішень особою, яка приймає рішення (ОПР), як чисельної міри чіткості і нечіткості нечіткої функції нечіткої відповідності можливого і необхідного результатів перспективної операції, планування і проведення якої розглядається в нечіткому середовищі.

Постановка проблеми

Модернізацію існуючих зразків озброєнь, а також розробку і створення нових зразків озброєнь зв'язують зі змістом приватного бойового завдання (або часток бойових завдань) в операції, для виконання якої вони призначаються. Опис перспективної операції визначається переліком і змістом ряду факторів, що мають як визначену і стохастично невизначену природу, так і природу нестохастично невизначену. Стратегія модернізації і створення нових зразків озброєнь визначається кількісним складом різнотипних зразків озброєнь, що мають необхідні рівні перспективних тактико-технічних характеристик, за якими забезпечується досягнення бажаних рівнів показників ефективності операції. Тоді виникає необхідність вирішення такої актуальної проблеми: формування доцільних стратегій на основі виявлення відповідності можливого і необхідного результатів операції в умовах нечіткого середовища, що обумовлена необхідністю обліку факторів нестохастичної невизначеності.

Аналіз літератури

У [1] викладений зміст операції, ефективності операції як відповідності між можливим і необхідним результатами операції, показників ефективності операції, при описі якої розглядаються визначені фактори і фактори стохастичної невизначеності. У [2 – 5] викладені методи обробки інформації в системах прийняття рішень, розглянуті питання прийняття рішень на основі нечіткої інформації, а також новітні досягнення в теорії можливостей. У [6] запропоновані показники ефективності і ризику ухвалення рішення ОПР про оцінювання результатів операції за умов нестохастичної невизначеності. Усе відзначене в аналізованій літературі дозволяє сформулювати мету наукової статті та викласти рішення поставленого завдання.

Мета статті – розробка методу виявлення переваг для стратегій модернізації та створення нових зразків озброєнь і формування множини доцільних стратегій на основі зіставлення функцій належності нечітких підмножин можливого і необхідного результатів операції в нечіткому середовищі.

Вирішення поставленого завдання

Одним з можливих підходів планування процесу модернізації або створення нових зразків озброєнь є підхід, в основу якого покладена протидія угруповань (сукупностей) перспективних зразків озброєнь двох сторін. Розглядається двостороння операція, в якій кожна із сторін А і В розташовується з позиції оперуючої сторони А, угрупованням в N_A та N_B одиниць різнотипних, у загальному випадку, зразків озброєнь, але порівняних за своїм використанням в операції. Ці засоби кожної зі сторін призначені для ураження сукупності так само різнотипних об'єктів ураження протилежної сторони, а саме M_A і M_B відповідно. Як модель двосторонньої протидії прийнята у силу протилежності кінцевих цілей сторін в операції матрична антагоністична гра двох осіб з нульовою сумою, що описується кортежем вигляду

$$\Gamma = \left\langle \{A, B\}, S_A, S_B, \{\bar{S}\}_{\bar{S} \in S_A \times S_B}, W_A, W_B \right\rangle, \quad (1)$$

де $\{A, B\}$ – множина гравців;

S_A, S_B – множина стратегій образів дій гравців А та В;

$\{\bar{S}\}_{\bar{S} \in S_A \times S_B}$ – множина конфліктних ситуацій як декартов добуток множини стратегій образів дій гравців;

W_A, W_B – функції корисності гравців, що відповідають конфліктній ситуації $\bar{S} = S_i \times S_j$.

Для будь-якої конфліктної ситуації $\bar{S} = S_i \times S_j$,

де $\bar{S} \in \{\bar{S}\}_{\bar{S} \in S_A \times S_B}$; $S_A = \bigcup_{i=1}^n S_i$; $S_B = \bigcup_{j=1}^m S_j$, у (1)

$W_A(\bar{S}) = -W_B(\bar{S})$. Гра (1) задається матрицею $C = \|c_{ij}\|, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$, яка формується в інтересах оперуючої сторони, розмірність C визначається розмірностями S_A та S_B , а елементи c_{ij} за своїм змістом є функцією виграшу оперуючої сторони. Така гра може мати рішення в чистих стратегіях, а будь-яка гра вигляду (1) має рішення в змішаних стратегіях. Рішення (1) – це ціна гри $V(C, X_c^*, Y_c^*)$, що за змістом є середнім гарантованим результатом протидії сторін A та B , а $X_c^* = \{x_i^*\}, i = \overline{1, n}$ – оптимальний вектор імовірностей застосування стратегій $S_i, i = \overline{1, n}$ сторони A ; $Y_c^* = \{y_j^*\}, j = \overline{1, m}$ – оптимальний вектор імовірностей застосування стратегій $S_j, j = \overline{1, m}$ сторони B .

В інтересах оцінювання можливого результату протидії сторін згідно з (1) за прийнятим показником ефективності операції, у якості якого може бути прийняте математичне сподівання кількості уражених об'єктів, із загальної кількості можливих типів засобів ураження сторін N_A, N_B і загального числа передбачуваних об'єктів ураження сторін M_A, M_B на основі їх ранжирувань необхідно виділити найбільш доцільні. З урахуванням факторів нестochasticної природи ранжирування об'єктів ураження сторін може бути засноване на основі постановки експертизи й обробки експертних даних. Об'єкти ураження M_B для засобів N_A сторони A складають множину $\bar{M}_B = \{\bar{m}_{B,i}\}, i = \overline{1, M_B}$. Припустимо, що $\tilde{R}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B)$ є нечітким відношенням об'єктів ураження, що складають множину \bar{M}_B , де $\tilde{R}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B)$ є нечіткою підмножиною прямого декартового добутку $\bar{M}_B \times \bar{M}_B$ на звичайній множині \bar{M}_B , що характеризується функцією належності $\mu_{\tilde{R}}: \bar{M}_B \times \bar{M}_B \rightarrow [0,1]$, а значення $\mu_{\tilde{R}}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B)$, згідно з [2], приймається як суб'єктивна міра відносини $(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B) \in \tilde{R}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B)$. Тоді функція належності (згідно [2]) нечіткого бінарного відношення нестрогої переваги як суб'єктивний погляд 1-го $l = \overline{1, L}$ експерта має вигляд

$$\mu_{\tilde{R}_\geq}^{(l)} = \left\| \mu_{\tilde{R}_\geq}^{(l)}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B) \right\|; \bar{m}'_B, \bar{m}''_B \in \tilde{R}; l = \overline{1, L}. \quad (2)$$

Результати експертів (2) з урахуванням їх ваг

усереднюються і представляються матрицею $\left\| \mu_{\tilde{R}_\geq}^{(l)}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B) \right\|$, за якою відповідно до співвідношенню вигляду

$$\mu_{\tilde{R}_\geq}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B) = \begin{cases} \mu_{\tilde{R}_\geq}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B) - \mu_{\tilde{R}_\geq}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B); \\ \text{если } \mu_{\tilde{R}_\geq}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B) \geq \mu_{\tilde{R}_\geq}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B); \\ 0, \text{ если } \mu_{\tilde{R}_\geq}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B) < \mu_{\tilde{R}_\geq}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B), \end{cases} \quad (3)$$

визначається функція належності нечіткого бінарного відношення строгої переваги у вигляді матриці

$$\mu_{\tilde{R}_\succ} = \left\| \mu_{\tilde{R}_\succ}(\bar{m}'_B, \bar{m}''_B) \right\|.$$

Ранжирування об'єктів ураження M_B та формування на цій основі підмножини доцільних об'єктів ураження $\bar{M}'_B \in \bar{M}_B, \bar{M}'_B = \{\bar{m}'_{B,i}\}, i = \overline{1, M'_B}$, можливе за визначенням міри їх недомінуємости. Об'єкт ураження $\bar{m}_B^{(q)} \in \bar{M}_B$ називають недомінуємим за відношенням строгої переваги, якщо серед інших об'єктів множини \bar{M}_B не існує жодного такого $\bar{m}_B \in \bar{M}_B$, який був би переважнішим за $\bar{m}_B^{(q)}$. Підмножина об'єктів $\bar{m}_B^{(q)}$ складає ядро нечіткого відношення строгої переваги, тобто

$$M_{\tilde{R}_\succ} = \left\{ \bar{m}_B^{(q)} \mid \exists \bar{m}_B \in \bar{M}_B: \bar{m}_B \succ \bar{m}_B^{(q)}; \forall \bar{m}_B, \bar{m}_B^{(q)} \in \bar{M}_B \right\}. \quad (4)$$

Ядро нечіткого відношення строгої переваги $M_{\tilde{R}_\succ}$ описується функцією переваги, яка визначається із співвідношення

$$\mu_{M_{\tilde{R}_\succ}}(\bar{m}_B) = \min_{\bar{m}_B \in \bar{M}_B} \left[1 - \mu_{M_{\tilde{R}_\succ}}(\bar{m}_B, \bar{m}_B) \right], \quad \forall \bar{m}'_B, \bar{m}''_B \in \bar{M}_B. \quad (5)$$

Значення функції приналежності для об'єктів, які задовольняють (4), варто трактувати як рівень їх недомінуємости, за яким об'єкти ранжуються. Якщо в ранжированому ряді об'єктів зберегти тільки ті, для яких $\mu_{M_{\tilde{R}_\succ}}(\bar{m}_B) = \beta \geq 0,5$, то множина цих об'єктів складе підмножину доцільних об'єктів ураження $\bar{M}'_B \in \bar{M}_B$, які відповідають умові $\beta \geq 0,5$.

Аналогічно формується підмножина доцільних перспективних засобів ураження сторони A , така, що:

$$\begin{aligned} \overline{N}'_A \in \overline{N}_A; \overline{N}'_A = \left\{ \overline{n}'_{A,j} \right\}, j = \overline{1, N_A^{(\beta)}} \\ \overline{N}_A = \left\{ \overline{n}_{A,j} \right\}, j = \overline{1, N_A}. \end{aligned}$$

В операції, яка розглядається, елементи підмножин \overline{M}'_B та \overline{N}'_A варто розглядати як сукупності однотипних об'єктів ураження та однотипних засобів ураження, тобто

$$\begin{aligned} \overline{M}'_B = \left\{ \overline{m}'_{B,i} = \bigcup_{k=1}^{k_i} \overline{m}'_{B,i,k} \right\}, i = \overline{1, M_B^{(\beta)}}; \\ \overline{N}'_A = \left\{ \overline{n}'_{A,j} = \bigcup_{k=1}^{\overline{k_j}} \overline{n}'_{A,j,k} \right\}, j = \overline{1, N_A^{(\beta)}}, \quad (6) \end{aligned}$$

де $\overline{m}'_{B,i,k}$ – k-й доцільний об'єкт ураження i-ої групи однотипних об'єктів, сформованої за рівнем β ;

$\overline{n}'_{A,j,k}$ – k-й доцільний засіб ураження j-ої групи засобів ураження, сформованої за рівнем β ;

$M_B^{(\beta)}, N_A^{(\beta)}$ – відповідно кількість доцільних різнотипних груп об'єктів і різнотипних груп засобів ураження, сформованих за рівнями β функцій належності відповідних ядер нечіткого відношення строгої переваги.

Для засобів ураження сторони B та їм відповідних об'єктів ураження сторони A формуються аналогічно при тому ж рівні $\beta \geq 0,5$ відповідних функцій належності множинам \overline{N}'_B та \overline{M}'_A .

Для доцільних перспективних $\overline{n}'_{A,j,k} \in \overline{n}'_{A,j}$ та $\overline{m}'_{B,i,k} \in \overline{m}'_{B,i}$ вирішуються завдання прогнозування значень основних тактико-технічних характеристик – характеристик точності (кругового ймовірного відхилення точок падіння боєприпасів від центра розсіювання, характеристик потужності боєприпасів та інших). Прогнозування цих характеристик для перспективних модернізуємих і нових зразків озброєнь в умовах моделювання двосторонньої операції в нечіткому середовищі можливе лише на основі введення в розгляд відповідної кожній характеристиці лінгвістичної змінної. Зміст прогнозування характеристики точності при введенні в розгляд лінгвістичної змінної полягає в наступному.

Відповідно до [4, 6] лінгвістична перемінна – це кортеж $\langle \beta, T(\beta), X, G, M \rangle$, де β – найменування лінгвістичної змінної; $T(\beta)$ – терм-множина лінгвістичної змінної β , елементи якого $\alpha_i, i = \overline{1, n}$ – суть найменування нечіткої змінної $\langle \alpha, X, \tilde{C}(\alpha) \rangle$

як лінгвістичних значень лінгвістичної змінної, де X – область визначення лінгвістичної змінної, $\tilde{C}(\alpha) = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\alpha)}(x)/x \right\}, x \in X, \mu_{\tilde{C}(\alpha)}(x)$ – значення функції належності нечіткої підмножини $\tilde{C}(\alpha)$ нечіткої змінної α ; G – синтаксичне правило, що породжує найменування змінної $\alpha \in T(\beta)$ як вербальних значень лінгвістичної змінної β ; M – синтаксичне правило, яке ставить у відповідність кожній змінній $\alpha \in T(\beta)$ нечітку підмножину $\tilde{C}(\alpha)$.

Імовірність події, яка полягає в тому, що об'єкт буде уражений одним засобом ураження, залежить, з урахуванням досяжності, від характеристик потужності й точності. Тому для їх прогнозування вводяться в розгляд лінгвістичні змінні: $\beta_{A,j,k}^{(q)}$ – <<значення характеристики потужності засобу ураження $\overline{n}'_{A,j,k}$ >>; $\beta_{A,j,k}^{(B_n)}$ – <<значення характеристики точності засобу ураження $\overline{n}'_{A,j,k}$ >>. Терми множини $T(\beta_{A,j,k}^{(q)})$ та $T(\beta_{A,j,k}^{(B_n)})$ складаються відповідно з наступних нечітких змінних: $\alpha_1^{(q)}$ – <<достатнє значення характеристики потужності засобу ураження $\overline{n}'_{A,j,k}$ >>; $\alpha_2^{(q)}$ – <<бажане значення характеристики потужності засобу ураження $\overline{n}'_{A,j,k}$ >>; $\alpha_1^{(B_n)}$ – <<достатнє значення характеристики точності засобу ураження $\overline{n}'_{A,j,k}$ >>; $\alpha_2^{(B_n)}$ – <<бажане значення характеристики точності засобу ураження $\overline{n}'_{A,j,k}$ >>.

У [5] наведені умови, яким в силу своєї семантики повинні задовольняти формуємі для кожного значення нечіткої змінної функції належності, а в [4] описана постановка експертизи й обробка експертних даних в інтересах визначення функцій належності нечітких підмножин:

$$\begin{aligned} \tilde{C}(\alpha_1^{(q)}) = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{(q)})}(x)/x \right\}, \tilde{C}(\alpha_2^{(q)}) = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{(q)})}(x)/x \right\}; \\ \tilde{C}(\alpha_1^{(B_n)}) = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{(B_n)})}(x)/x \right\}, \tilde{C}(\alpha_2^{(B_n)}) = \left\{ \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{(B_n)})}(x)/x \right\}. \quad (7) \end{aligned}$$

Експерти висловлюють свої суб'єктивні судження про те, у скільки разів значення функція належності, наприклад, нечіткої змінної $\alpha_1^{(q)}$, $\mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{(q)})}(x_i)$ перевищує значення функції належності $\mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{(q)})}(x_j)$, де

$x_i, x_j \in X, i, j = \overline{1, n}$, керуючись шкалою якісних оцінок, наведених у [4]. При цьому формується матриця $A = \|a_{ij}\|; i, j = \overline{1, n}$, для якої $a_{ij} > 0; a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, a_{ik} = a_{ij}a_{jk}, i, j, k = \overline{1, n}$, тобто матриця $A \in$ позитивною, зворотньосиметричною та погодженою.

Для такої матриці рівняння $AY^T = 2Y$ має єдине власне число $\lambda = n$ і йому відповідний єдиний власний вектор $Y = \{\mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{(q)})}(x_j)\}, j = \overline{1, n}$.

Формування нечітких підмножин $\tilde{C}(\alpha_1^{(q)}), \tilde{C}(\alpha_1^{(Bn)})$ та відповідно $\tilde{C}(\alpha_2^{(q)}), \tilde{C}(\alpha_2^{(Bn)})$ при прийнятих значеннях функцій приналежності

$$\mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{(q)})}(x) = \beta_{\tilde{i}}; \mu_{\tilde{C}(\alpha_1^{(Bn)})}(x) = \beta_{\tilde{i}};$$

$$\mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{(q)})}(x) = \beta_{\tilde{i}}; \mu_{\tilde{C}(\alpha_2^{(Bn)})}(x) = \beta_{\tilde{i}}, \tilde{i} = \overline{1, S}$$

дозволяє сформувати чіткі $\beta_{\tilde{i}}$ -рівневі множини значень характеристик потужності й точності засобів ураження $\bar{n}'_{A,j,\bar{k}}$, що відповідають нечітким змінним $\alpha_1^{(q)}, \alpha_1^{(Bn)}$ та $\alpha_2^{(q)}, \alpha_2^{(Bn)}$, а саме:

$$\left. \begin{aligned} Q_{\alpha_1^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} &= \left\{ q_{\alpha_1^{(q)}, \bar{n}'_{A,j,\bar{k}}}^{(\beta_{\tilde{i}})} \right\}; B_{\alpha_1^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} = \left\{ Bn_{\alpha_1^{(Bn)}, \bar{n}'_{A,j,\bar{k}}}^{(\beta_{\tilde{i}})} \right\}; \\ Q_{\alpha_2^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} &= \left\{ q_{\alpha_2^{(q)}, \bar{n}'_{A,j,\bar{k}}}^{(\beta_{\tilde{i}})} \right\}; B_{\alpha_2^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} = \left\{ Bn_{\alpha_2^{(Bn)}, \bar{n}'_{A,j,\bar{k}}}^{(\beta_{\tilde{i}})} \right\}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Якщо

$$\bar{Q}_{\alpha_1^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} = \inf_{\tilde{j} \in [1, \gamma_{\beta_{\tilde{i}}}] } \left\{ q_{\alpha_1^{(q)}, \bar{n}'_{A,j,\bar{k}}}^{(\beta_{\tilde{i}}), \tilde{j}} \right\};$$

$$\bar{Q}_{\alpha_1^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} = \sup_{\tilde{j} \in [1, \gamma_{\beta_{\tilde{i}}}] } \left\{ q_{\alpha_1^{(q)}, \bar{n}'_{A,j,\bar{k}}}^{(\beta_{\tilde{i}}), \tilde{j}} \right\}, \tilde{j} = \overline{1, \gamma_{\beta_{\tilde{i}}}}; \tilde{i} = \overline{1, S}$$

і аналогічного змісту значення

$$\bar{Q}_{\alpha_2^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{Q}_{\alpha_2^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{B}_{\alpha_1^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{B}_{\alpha_1^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{B}_{\alpha_2^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{B}_{\alpha_2^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})},$$

то множини

$$\left. \begin{aligned} R_{\alpha_1^{(q)}, \alpha_1^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} &= \left\{ \bar{Q}_{\alpha_1^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{B}_{\alpha_1^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{Q}_{\alpha_1^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{B}_{\alpha_1^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} \right\}; \\ R_{\alpha_2^{(q)}, \alpha_2^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} &= \left\{ \bar{Q}_{\alpha_2^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{B}_{\alpha_2^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{Q}_{\alpha_2^{(q)}}^{(\beta_{\tilde{i}})}, \bar{B}_{\alpha_2^{(Bn)}}^{(\beta_{\tilde{i}})} \right\}, \forall \beta_{\tilde{i}} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

дозволяють при наявності характеристик міцності об'єктів ураження сформувані нечіткі підмножини

нечітких змінних $\alpha_1^{(p)}, \alpha_2^{(p)}$ – <<достатнє (бажане) значення імовірності ураження об'єкта $\bar{m}'_{B,i,k}$ одним засобом $\bar{n}'_{A,j,\bar{k}} \gg$ лінгвістичної змінної <<значення імовірності ураження об'єкта $\bar{m}'_{B,i,k}$ одним засобом ураження $\bar{n}'_{A,j,\bar{k}} \gg$.

Множини (9), що відповідають нечітким змінним $\alpha_1^{(p)}, \alpha_2^{(p)}$, при розгляді випадкової величини – число уражених об'єктів, – яка при такій постановці підпорядкована узагальненому біноміальному закону розподілення, дозволяють сформувати нечітку підмножину доцільних стратегій образа дій сторони A в грі (1). Зміст стратегії – це можлива комбінація розподілу різнотипних засобів N_A по різнотипних об'єктах ураження M_B . При заданому числі засобів ураження першого типу, запланованих для ураження об'єктів ураження першого типу, стратегія $\bar{S} \in S_{A_i}, i = \overline{1, n}$ приймається оптимальною, якщо при ній досягається максимум математичного сподівання кількості уражених об'єктів усіх типів усіма типами засобів ураження.

Аналогічно наведений вище процедурі, наданої співвідношеннями (2) – (9), формується нечітка підмножина стратегій образів дій $\tilde{S}_B = \{\tilde{S}_j\}, j = \overline{1, m}$ сторони B .

Кожній конфліктній ситуації, обумовленій декартовим добутком $\bar{S}_i \times \bar{S}_j$, ставлять у відповідність функції корисності сторін і функції виграшу оперуючої сторони, що складають зміст елементів $C = \|c_{ij}\|, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ матриці гри (1).

Оскільки згідно з (9) формувалися нечіткі підмножини стратегій образа дій сторін \tilde{S}_A та \tilde{S}_B , нечіткі підмножини функцій корисності сторін $\tilde{\Pi}_A, \tilde{\Pi}_B$ і відповідні їм нечіткі їм відповідні підмножини функцій виграшу оперуючої сторони \tilde{W}_A відповідно для $(\alpha_1^{(q)}, \alpha_1^{(Bn)})$ та $(\alpha_2^{(q)}, \alpha_2^{(Bn)})$, то тим самим стверджується, що (9) дозволяє сформувані нечітку підмножину нечітких ігор $\tilde{\Gamma}_{\tilde{C}}$ вигляду (1), а множини нечітких перемінних $\alpha_1^{(w_1)}$ – <<достатнього значення можливого результату протидії в операції>> і $\alpha_2^{(w_2)}$ – <<бажаного значення можливого результату протидії в операції>> лінгвістичної перемінної $\beta^{(w)}$ – <<значення можливого результату протидії сторін в операції>> в інтересах оперую-

чої сторони.

На рис. 1 наведено зіставлення функцій належності нечітких підмножин лінгвістичних змінних

розподілу випадкової величини – песимістична оцінка кількості уражених об'єктів сторони В ($F_n^*(x)$) та оптимістична оцінка кількості уражених об'єктів

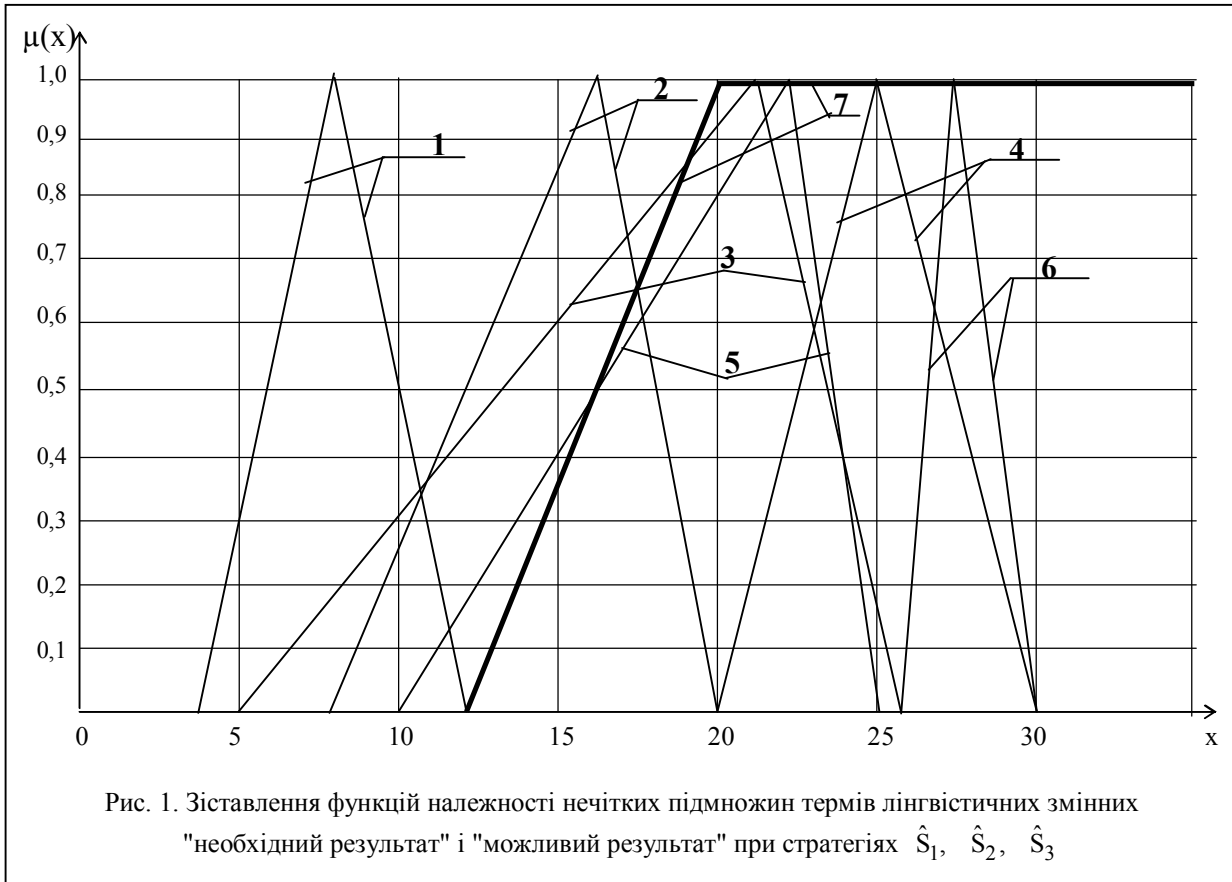


Рис. 1. Зіставлення функцій належності нечітких підмножин термів лінгвістичних змінних "необхідний результат" і "можливий результат" при стратегіях $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3$

<<необхідний результат протидії в операції>>, що відповідає кривій 7, і <<можливий результат протидії в операції>> при різних стратегіях $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3$, що відповідає кривим 1 і 2; 3 і 4; 5 і 6.

Крива 7 є графічним представленням нечіткої підмножини

$$\tilde{C}(W^{(Tp)}) = \tilde{C} = \bigcup_{x \in C_x} (\mu_{\tilde{C}}(x)/x),$$

де C_x – чітка множина носіїв нечіткої підмножини \tilde{C} .

Область визначення відзначених тут лінгвістичних змінних відповідає значенням математичного сподівання кількості уражених об'єктів усіх типів засобами ураження всіх типів, яке воно може прийняти при розгляді операції. Значення носіїв $x_1 = 12$ та $x_2 = 20$ нечіткої підмножини $\tilde{C}(W^{(Tp)})$, при яких $(\mu_{\tilde{C}}(x_1)/x_1 = 12) = 0$ та $(\mu_{\tilde{C}}(x_2)/x_2 = 20) = 1,0$, прийняті рівними квантилям $x_1 = x_{\alpha=0,1} = F_n^{-1*}(\alpha = 0,1)$, $x_2 = x_{\alpha=0,9} = F_{on}^{-1*}(\alpha = 0,9)$ статистичних функцій

сторони В ($F_{on}^*(x)$), що побудовані за результатами експертизи, в якій суб'єктивні думки експертів приймалися як можливі значення відповідних випадкових величин.

Стратегії $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3$ за своїм змістом можуть бути визначені, виходячи з різних переліків принципів і концепцій, що розглядає ОПР при проведенні експертиз, пов'язаних з ранжируванням різних перспективних засобів ураження оперуючої сторони об'єктів ураження протилежної сторони та при формуванні множин стратегій розподілення засобів ураження S_A, S_B . Ранжирування стратегій за перевагами можливо на основі показників ефективності та ризику ухвалення рішення ОПР.

У [6] введено поняття ефективності операції, що описується в нечіткому середовищі, як нечітка відповідність нечітких підмножин можливого і необхідного результатів операції. В інтересах обчислення показника ефективності операції введена в розгляд функція нечіткої відповідності нечітких підмножин необхідного і можливого результату

операції на множині стратегій $\hat{S} = \{\hat{S}_i\}, i = \overline{1, n}$ вигляду

$$\mu(\hat{S}) = \mu \left(\bigcup_{x \in W_x^{(B)}} (\mu_{\tilde{W}^{(B)}}(\hat{S}, x)/x), \bigcup_{x \in W_x^{(Tp)}} (\mu_{\tilde{W}^{(Tp)}}(x)/x) \right), \quad (10)$$

де $\mu(\hat{S}) = \bigcup_{W_x^{(B)} \subset W_x^{(Tp)}} ((\mu_{\tilde{W}^{(Tp)}}(x) - \mu_{\tilde{W}^{(B)}}(\hat{S}, x))/x)$ – нечітка підмножина можливого результату;

$W_x^{(B)}$ – носій $\tilde{W}^{(B)}$;

$\tilde{W}^{(Tp)}$ – нечітка підмножина необхідного результату;

$W_x^{(Tp)}$ – носій $\tilde{W}^{(Tp)}$.

Якщо зіставлення нечітких підмножин можливого і необхідного результатів операції відповідає досягненню мети операції, тобто, якщо $W_x^{(B)} \subset W_x^{(Tp)}$, то (10) має вигляд

$$\mu(\hat{S}) = \bigcup_{W_x^{(B)} \subset W_x^{(Tp)}} ((\mu_{\tilde{W}^{(Tp)}}(x) - \mu_{\tilde{W}^{(B)}}(\hat{S}, x))/x), \quad (11)$$

що за змістом є нечіткою підмножиною

$$\tilde{W}^{(B>Tp)} = \bigcup_{W_x^{(B)} \subset W_x^{(Tp)}} (\mu_{\tilde{W}^{(B>Tp)}}(x)/x), \quad (12)$$

і показником ефективності операції виступає чисельна міра чіткості нечіткої підмножини (12), обумовленою співвідношенням

$$E \left(\tilde{W}^{(B>Tp)}, \tilde{W}^{(B>Tp)} \right) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \mu_{\tilde{W}^{(B>Tp)}}(x_i) - \mu_{\tilde{W}^{(B>Tp)}}(x_i) \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Якщо зіставлення нечітких підмножин можливого і необхідного результатів операції не відповідає досягненню мети операції, тобто, якщо $W_x^{(B)} \not\subset W_x^{(Tp)}$, то (10) має вигляд

$$\mu(\hat{S}) = \bigcup_{x \in W_x^{(B)}} (\mu_{\tilde{W}^{(B)}}(x)/x) = \tilde{W}^{(B)} = \tilde{W}^{(B<Tp)} \quad (14)$$

і показником ефективності операції відповідно до досягнення нею мети виступає чисельна міра нечіткості нечіткої підмножини (14), а саме:

$$E \left(\tilde{W}^{(B<Tp)}, \tilde{W}^{(B<Tp)} \right) =$$

$$= 1 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \mu_{\tilde{W}^{(B)}}(x_i) - \mu_{\tilde{W}^{(B)}}(x_i) \right|^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (15)$$

Для стратегії $\hat{S}_k \subset \hat{S}$ ОПР приймає рішення про його прийняття чи неприйняття за показниками ефективності та ризику ухвалення рішення: стратегія S_k приймається і показник ефективності ухвалення рішення є показником ефективності операції відповідно до її мети, а при цьому показник ризику $(R(\hat{S}))$ ухвалення рішення є показником недосягнення мети операції та відповідає кількісній мірі нечіткості (12); стратегія S_k відкидається як така, при якій не забезпечується досягнення мети операції, і показник ефективності такого рішення є кількісною мірою чіткості нечіткої підмножини (14), а при цьому показник ризику є кількісною мірою нечіткості нечіткої підмножини (14). З погляду на досягнення мети операції показник ефективності операції є кількісною мірою нечіткості (14), а показник ризику з цих позицій – кількісна міра чіткості нечіткої підмножини (14).

У табл. 1 наведені ілюстративні результати обчислень показників ефективності та ризику ухвалення рішення ОПР про виявлення переваг стратегій $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3$ відповідно до зіставлення функцій належності нечітких перемінних лінгвістичних перемінних <<необхідний результат протидії сторін в операції>> і <<можливий результат протидії сторін в операції>>, функції належності яких наведені на рис. 1.

Для нечіткої підмножини $\tilde{W}_1^{(B)}$, що описує нечітку змінну <<достатній можливий результат протидії>>, за стратегією \hat{S}_1 множина його носіїв не включена в множину носіїв нечіткої змінної <<необхідний результат протидії>>, що відповідає досягненню мети операції, і показник ефективності ухвалення рішення ОПР про те, що стратегію \hat{S}_1 за нечіткою змінною $\tilde{W}_1^{(B)}$ варто відкинути $E(\hat{S}_1, \tilde{W}_1^{(B)}) = 0,664$; ОПР при такому рішенні припускає ризик з показником $R(\hat{S}_1, \tilde{W}_1^{(B)}) = 0,336$. Для тієї ж стратегії \hat{S}_1 за нечіткою змінною <<бажаний результат протидії>> зіставлення нечітких підмножин $\tilde{W}_2^{(B)}$ та $\tilde{W}^{(Tp)}$ дає результат: ОПР може прийняти рішення про те, що \hat{S}_1 варто відкинути і показник ефективності прийняття такого рішення

$E(\hat{S}_1, \tilde{W}_2^{(B)}) = 0,5$ та показник ризику $R(\hat{S}_1, \tilde{W}_2^{(B)}) = 0,5$. З погляду на досягнення мети операції і враховуючи на те, що <<бажаний результат про-

стратегію \hat{S}_3 , але показники ефективності та ризику прийняття такого рішення $E(\hat{S}_3, \tilde{W}_1^{(B)}) = 0,84$,

Таблиця 1

Значення показників ефективності і ризику при виявленні переваг стратегій $\hat{S}_1, \hat{S}_2, \hat{S}_3$

Прийняття рішень про переваги стратегії	Показник ухвалення рішення	\hat{S}_1			\hat{S}_2			\hat{S}_3		
		\tilde{W}_1^B (крива 1)	\tilde{W}_2^B (крива 2)	рівень $\mu(x)$	\tilde{W}_1^B (крива 3)	\tilde{W}_2^B (крива 4)	рівень $\mu(x)$	\tilde{W}_1^B (крива 5)	\tilde{W}_2^B (крива 6)	рівень $\mu(x)$
Ціль досягнута (можливий результат \succ необхідного)	$E(\hat{S})$	–	0,760	$0 \leq \mu(x) \leq 0,65$	0,630	0,746	$0 \leq \mu(x) \leq 1$	0,768	0,776	$0 \leq \mu(x) \leq 1$
	$R(\hat{S})$	–	0,240		0,370	0,254		0,232	0,224	
Ціль не досягнута (можливий результат \prec необхідного)	$E(\hat{S})$	0,664	0,500	$0 \leq \mu(x) \leq 1$	0,611	–	$0 \leq \mu(x) \leq 0,87$	0,84	–	$0 \leq \mu(x) \leq 0,5$
	$R(\hat{S})$	0,336	0,500		0,389	–		0,16	–	

тиді>> в операції буде досягнутий, ОПР може вирішити питання прийняття стратегії \hat{S}_1 . Показник ефективності прийняття такого рішення $E(\hat{S}_1, \tilde{W}_2^{(B)}) = 0,760$, а ризику $R(\hat{S}_1, \tilde{W}_2^{(B)}) = 0,240$, але довіра цим оцінкам прийняття такого рішення за функцією належності – $\mu(x) \leq 0,65$.

Оскільки множина носіїв нечіткої змінної $\tilde{W}_1^{(B)}$ при \hat{S}_1 не належать множині носіїв нечіткої змінної $\tilde{W}^{(Tr)}$, то ОПР не може, порівнюючи функції належностей $\tilde{W}_1^{(B)}$ і $\tilde{W}^{(Tr)}$ з позиції досягнення мети в операції, зробити висновок про прийняття стратегії \hat{S}_1 .

Для нечітких підмножин $\tilde{W}_1^{(B)}, \tilde{W}_2^{(B)}$, що описують <<достатній>> і <<бажаний>> рівні результату операції, що відповідають стратегії \hat{S}_3 , маємо, що ОПР може вирішити питання прийняття \hat{S}_3 і при цьому показник ефективності та ризику відповідно приймають значення $E(\hat{S}_3, \tilde{W}_1^{(B)}) = 0,768$, $E(\hat{S}_3, \tilde{W}_2^{(B)}) = 0,776$ та $R(\hat{S}_3, \tilde{W}_1^{(B)}) = 0,232$, $R(\hat{S}_3, \tilde{W}_2^{(B)}) = 0,224$. За нечіткою змінною $\tilde{W}_1^{(B)}$ ОПР може й відкинути

$R(\hat{S}_3, \tilde{W}_1^{(B)}) = 0,16$ мають довіру за функцією належності $\mu(x) \leq 0,5$.

Оцінюючи стратегію \hat{S}_2 з погляду на її прийняття чи неприйняття за показниками ефективності та ризику ухвалення рішення, видно, що \hat{S}_2 переважає \hat{S}_1 і менш краще за \hat{S}_3 . Для розглянутого ілюстративного прикладу маємо, що $\hat{S}_3 \succ \hat{S}_2 \succ \hat{S}_1$.

Висновки

Обґрунтування доцільних стратегій модернізації існуючих різномісних зразків озброєння або створення нових різномісних зразків озброєння і формування множини кращих стратегій повинно будуватися на концепції досягнення цілей в операціях, у яких застосування цих засобів ураження (різномісних зразків озброєння) планується. Моделювання операцій протидії двох сторін повинно враховувати протилежність кінцевих цілей сторін. Множина об'єктів ураження сторін, вплив за якими забезпечує досягнення цілей, в операції двосторонньої протидії може бути звужена на основі експертизи, у якій експерти висловлюють свої суб'єктивні думки про нечітке бінарне відношення нестрогої переваги перспективної множини об'єктів ураження.

Ранжирування і формування підмножини об'єктів ураження, які не домінують, складають зміст інформації для експертів при проведенні експертизи в інтересах ранжирування та формування підмножини доцільних перспективних, з урахуванням значень їх основних тактико-технічних характеристик, зразків озброєнь. Формування підмножини доцільних перспективних об'єктів ураження сторін та підмножини доцільних перспективних засобів ураження (різномісних зразків озброєнь) призводить до необхідності моделювання операції протидії сторін в умовах нестохастичної невизначеності. Результат, що може мати місце в операції – можливий результат – може бути описаний нечітко. При такому описі доцільне введення в розгляд лінгвістичних перемінних: <<достатній результат операції>> та <<бажаний результат операції>>. При розгляді протидії сторін у нечіткому середовищі необхідний результат, що задається ОПР, також варто описувати нечітко.

Відповідність можливого і необхідного результатів операції визначає поняття ефективності операції з погляду на досягнення її мети, а кількісна міра такої відповідності складає зміст показника ефективності операції, виходячи з відомих підходів до оцінювання рівня показника операції, яка розглядається в умовах стохастичної невизначеності. Стверджується, що досягнення мети операції забезпечується, якщо множина носіїв нечіткої підмножини, що описує можливий результат операції, належить множині носіїв нечіткої підмножини, що описує необхідний результат операції.

При наявності такого твердження рівень показника ефективності операції запропоновано вимірювати кількісною мірою чіткості нечіткої підмножини, для якої значення функції належності для кожного елемента множини відповідності носіїв нечітких множин можливого і необхідного результатів визначаються різницею функцій належності нечітких підмножин необхідного і можливого результатів. А міра нечіткості такої нечіткої підмножини виступає кількісною оцінкою ризику, яка при такій оцінці показника ефективності операції допускається. Якщо множина носіїв нечіткої підмножини мож-

ливого результату не включена в множину носіїв нечіткої підмножини необхідного результату, то показником ефективності операції виступає міра нечіткості нечіткої підмножини можливого результату операції. Кожній стратегії, що належить множині стратегій модернізації зразків озброєнь або створення нових зразків озброєнь, ставиться у відповідність зіставлення нечітких підмножин нечітких змінних лінгвістичних змінних <<можливий результат операції>> та <<необхідний результат операції>>, що і дозволяє визначити показники ефективності й ризику прийнятого рішення ОПР про множину доцільних стратегій перспективної модернізації існуючих зразків озброєнь і створення нових перспективних зразків озброєнь.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Под ред. Рональда Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 406 с.
3. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 314 с.
5. Борисов А.Н. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. – М.: Радио и связь, 1989. – 303 с.
6. Бильчук В.М., Десятов О.В., Николаева И.С. Метод определения показателей эффективности и риска принятия решений при проведении операции в условиях нестохастической неопределенности // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2003. – Вип. 3. – С. 11 – 22.

Надійшла 03.10.2005

Рецензент: д-р техн. наук професор Ю.В. Стасев, Харківський університет Повітряних Сил.