

УДК 519.8+510.22

В.М. Більчук, В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ НЕСТОХАСТИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*Прогнозовані значення параметрів вектора управління не враховують опис умов середовища, яке скла-лося на час прийняття рішень. Пропонується можливий підхід автоматизованого оновлення та поповнення значень параметрів вектора управління на основі визначеної заздалегідь за результатами експертизи їх узагальненої функції приналежності. Пропонується поняття ефективності прийняття рішень. Розглядається показник ефективності та ризику прийняття рішення за скорочений термін часу при повному чіткому, неповному чіткому, повному нечіткому, неповному нечіткому рівнях інформаційного забезпечення.*

**Ключові слова:** ефективність, прийняття рішень, інформаційне забезпечення, оперативність, не-визначеність.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Поняття операція ви-значає використання ресурсів за доцільними (опти-мальними) стратегіями з метою досягнення мети операції. Особа, яка приймає рішення (ОПР), визна-чає оптимальні стратегії використання ресурсів, що і складає основу управління операцією, виходячи із змісту інформаційного забезпечення.

Параметри, які складають зміст вектора управ-ління та визначаються в процесі інформаційного за-безпечення, в своїй більшості мають природу несто-хастичної невизначеності. Визначення значень таких параметрів можливе лише на основі постанов-ки експертиз, в яких експерти висловлюють свої суб'єктивні судження, які відповідають змісту нечі-ткого середовища. Прийняття рішень ОПР на управління за скорочений термін часу потребує опе-ративного поновлення, або поповнення значень па-раметрів інформаційного забезпечення, що може бу-ти забезпечено лише при використанні ЕОТ. Сутність наукової проблеми полягає в оперативному поновленні чи поповненні нестохастично невизначе-них значень параметрів інформаційного забезпече-ння вироблення рішень та оцінка ефективності, як ступеню готовності, прийняття рішень ОПР на управління операцією за скорочений термін часу.

**Аналіз літератури.** В [1] розглядаються пи-тання щодо інформаційного забезпечення процесів управління бойовими діями військ протиповітряної оборони та відзначається, що на час прийняття рі-шень ОПР інформаційне забезпечення повинно від-повідати умовам, які склалися. В [2] відзначається, що інформаційне забезпечення вироблення та при-йняття оперативних рішень щодо управління угру-пуваннями протиповітряної оборони за своїм зміс-том є перелік відповідних параметрів, більшість із яких мають природу нестохастичної невизначеності.

Ранжування їх значущості (важності) тому можливе лише на основі постановки експертизи, в якій екс-перти висловлюють свої думки відносно їх нечітко-го бінарного відношення несупорядкованої переваги. В [3] визначені поняття ефективності операції, показника ефективності операції, опис якої враховує фактори стохастично невизначеної природи. В [4, 5] пропо-нується оцінка показників ефективності та ризику прийняття рішень ОПР в умовах нечіткого середо-вища.

**Мета статті** полягає в виробленні науково об-ґрунтованих рекомендацій щодо формування несто-хастичного невизначеного повного інформаційного забезпечення вироблення рішень на управління опе-рацією за скорочений термін часу та оцінка ефекти-вності і ризику їх прийняття ОПР.

### Вирішення поставленого завдання

Прийняття рішення ОПР на управління в опе-рації потребує інформаційного забезпечення, яке за своїм змістом є множина параметрів  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, n}$  (вектор управління). Управління операцією ОПР забезпечує за термін часу  $\tau$  почи-наючи з  $t_k > t_0$ , де  $t_k$  – момент часу, який відпові-дає початку операції, а  $t_0$  – момент часу прийняття рішень ОПР. Прийняття рішення на управління опе-рацією має зміст: визначення значень параметрів ве-ктора управління, які відповідають змісту ресурсів ОПР, їх кількісного визначення з урахуванням їх обмеженості, множини оптимальних стратегій вико-ристання ресурсів з урахуванням дій другої сторони та інше. Прийняття рішення на управління в момент часу  $t_0$  потребує знання значень параметрів вектора управління на момент часу  $t_k$ , що відповідає поста-новкам та розв'язання задач прогнозування параме-трів  $d_i, i = \overline{1, n}$ . Розглянемо відомі підходи щодо

розв'язання задач прогнозування параметрів вектора управління.

Якщо на момент часу  $t_0$  дослідник (ОПР) має статистику, яка описує значення деякого параметру за термін часу  $t_i < t_0, i = \overline{1, m}$ , то задача прогнозування значення цього параметру на термін часу  $t_k + \tau > t_0$ , який передбачається, може бути поставлена та розв'язана в умовах стохастичної невизначеності. Згладжування значень параметру на моменти часу  $t_i, i = \overline{1, m}$  може бути виконано за методом найменших квадратів при припущенні деякої функціональної залежності значень цього параметру від часу. Прогнозування значень параметру на термін часу  $t_k + \tau > t_0$  тоді полягає в тому, що усереднені значення параметру по статистичним даним (по тренду) екстраполіруються на інтервалі  $t_k + \tau > t_0$ . Така методика прогнозування окрім того, що потребує наявності статистичних даних, передбачає достатньо вагомим припущення, які полягають в тому, що сукупність факторів та вплив кожного із них на визначення значення параметру за термін часу, який описується статистикою  $t_i, i = \overline{1, m}$ , залишають незмінним і в термін часу  $t_k + \tau > t_0$ . Оскільки такі припущення є вагомими, то довгостроковий прогноз значень параметру слід вважати недостатньо достовірними.

Якщо статистика щодо значень параметру за  $t_i, i = \overline{1, m}$  є недостатньою ( $m < 10$ ), або вона зовсім відсутня, то такий методичний підхід до прогнозування значень параметру принципово не може бути прийнятим. Задачу прогнозування значень параметру слід розглядати в умовах нестохастичної невизначеності. В такому разі прогнозні значення параметру на термін часу  $t_k + \tau > t_0$  можуть бути отримані тільки на підставі проведення експертизи та обробки експертних даних.

Експертиза ставиться дослідником за схемою експертизи, яку він передбачає: визначення множини допустимих оцінок значень параметру, визначення множини допустимих оцінок значень параметру експерта, наявність взаємозв'язку між експертами, наявність зворотнього зв'язку, метод обробки експертних даних. Прийняття тої чи іншої схеми експертизи пов'язано з природними бажаннями дослідника щодо підвищення точності прогнозованого значення параметру вектора управління.

З цією метою може розглядатися схема експертизи, яка передбачає визначення вагових коефіцієнтів для експертів, або експертам пропонується висловити свої суб'єктивні думки відносно не одного значення параметру, а указати три оцінки, де першу слід розглядати як песимістичне другу, як таку, яка найбільше є очікуваною, а третю, як оптимістичну.

З тією ж метою дослідник при визначенні схеми експертизи може передбачити наявність зворотного зв'язку, за змістом якого кожний експерт при повторенні експертизи одержує додаткову інформацію щодо квантілей значення параметру  $a_{\alpha_1} = F^{-1}(\alpha_1)$ ,

$a_{\alpha_2} = F^{-1}(\alpha_2)$ , де доцільно приймати  $\alpha_1 = 0,1$ ;  $\alpha_2 = 0,9$ , а  $F^{-1}(\alpha_1)$ ,  $F^{-1}(\alpha_2)$  – є зворотні функції до функції розподілу випадкових величин  $\hat{a}_i$ ,  $\hat{a}_{i,0}$ ,  $\hat{a}_{oi}$  відповідно песимістичної, найбільше очікуваної та оптимістичної оцінок значення параметру вектора управління. Результати повторної експертизи з урахуванням додаткової інформації визначеного вище змісту усереднюються за виразом

$$\bar{a}_i = \frac{\sum_{\ell=1}^L k_\ell a_i^{(\ell)}}{\sum_{\ell=1}^L k_\ell},$$

де  $k_\ell$  – вага  $\ell$ -го експерта,  $a_i^{(\ell)}$  – песимістична оцінка значення параметру за суб'єктивною думкою  $\ell$ -го експерта.

Аналогічно усереднюються результати експертизи щодо найбільше очікуваної оцінки та оптимістичної оцінки значення параметру системи управління  $\bar{a}_{i,0}$ ,  $\bar{a}_{i1}$ .

Подальше використання отриманих результатів обробки експертних даних пов'язано з тим, яку модель системи управління розробляє дослідник для ОПР. Якщо модель повинна відповідати системі управління, яка функціонує в чіткому середовищі, то і результати прогнозування слід передбачати чіткими.

Прийняття ОПР того чи іншого результату щодо прогнозного значення параметру із  $\bar{a}_i$ ,  $\bar{a}_{i,0}$ ,  $\bar{a}_{i1}$  відповідає його особистому відношенню до ризику. Якщо ОПР не схильний до ризику, то він буде оперувати песимістичною оцінкою  $\bar{a}_i$ , якщо ОПР схильний до ризику, то він буде оперувати оптимістичною оцінкою  $\bar{a}_{i1}$ , якщо ОПР байдужий до ризику, то він буде оперувати найбільш очікуваною оцінкою  $\bar{a}_{i,0}$ . Якщо ОПР не бажає чітко висловлювати своє відношення до ризику, то він може користуватися оцінкою

$$\bar{a}_1 = \frac{1}{3}(\bar{a}_i + \bar{a}_{i1} + \bar{a}_{oi}),$$

якщо він вважає себе все ж більш песимістом ніж оптимістом, то він може користуватися оцінкою

$$\bar{a}_2 = \frac{1}{3}(\alpha \bar{a}_i + \bar{a}_{i1} + \beta \bar{a}_{oi}),$$

де  $0,5 < \alpha \leq 1,0$ , а  $0 \leq \beta < 0,5$ , а якщо він вважає себе все ж більш оптимістом, ніж песимістом, то може визначати

$$\bar{a}_3 = \frac{1}{3}(\beta \bar{a}_1 + \bar{a}_{1i} + \alpha \bar{a}_{oi}).$$

Якщо модель, яка будується дослідником для ОПР, повинна відповідати управлінню в нечіткому середовищі, то і результати прогнозування значення параметру управління необхідно подавати у вигляді нечіткої підмножини. Отримані результати експертного прогнозування значення параметру вектора управління за схемою експертизи, яка описана вище, дозволяють визначати значення параметру, яке подається як нечітке трикутне число.

За означенням, нечітке число  $\tilde{A}$  на дійсній прямій – це нечітка підмножина, яка характеризується функцією належності  $\mu_{\tilde{A}}(x) : \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$ .

Нечітке число  $\tilde{A}$  має запис

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

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

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

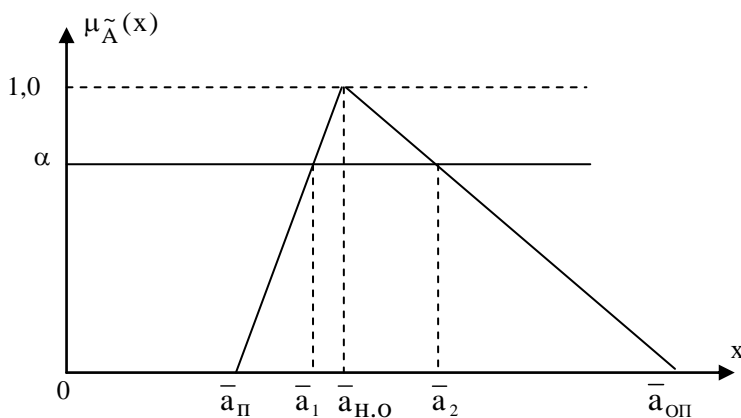


Рис. 1. Опис прогнозного значення параметру системи управління

відносно бінарних відношень переваги. Відношення – це є математичне поняття, яке означає підмножину прямого декартового добутку множин. В виробленні рішень, як правило, розглядаються бінарні відношення, бо вони добре пов'язані з традиційними висловлюваннями елементарних суджень, а саме: "менше-більше", "гірше-краще" та інші. Бінарним відношенням  $R$  на звичайній множині елементів  $D$  називається підмножина упорядкованих пар  $(d', d'')$  множини прямого декартового добутку  $D \times D$ . Бінарні відношення можуть розглядатись для опису зв'язку між елементами різної природи та висловлюватись матрицею суміжностей, графом, переліком елементів множини  $R$ , підмножиною точок в декартовій системі координат. Якщо фактори, які розглядає дослідник при описі природного явища, визначають чітку при-

Із означення (1) випливає, що нечітке число  $\tilde{A}$  на дійсній прямій є 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

$$\max_{x \in \mathbb{R}} \mu_{\tilde{A}}(x) = 1.$$

Функція належності нечіткого трикутного числа (нечіткої підмножини), яке подано на рис. 1, має вигляд

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x - \bar{a}_1}{\bar{a}_{1.o} - \bar{a}_1}, & \text{якщо } \bar{a}_1 \leq x \leq \bar{a}_{1.o}; \\ \frac{\bar{a}_{1.o} - x}{\bar{a}_{1.i} - \bar{a}_{1.o}}, & \text{якщо } \bar{a}_{1.o} < x \leq \bar{a}_{1.i}; \\ 0, & \text{якщо } 0 \leq x < \bar{a}_1; x > \bar{a}_{oi}. \end{cases} \quad (2)$$

Подальше використання такого подання значення параметра системи управління пов'язано з визначенням такого носія нечіткої підмножини  $\bar{a} \in (\bar{a}_1, \bar{a}_2)$ , який відповідає заданому рівню функції належності  $\mu_{\tilde{A}}(x) = \alpha$  (рис. 1).

При експертному прогнозуванні значення параметру системи управління дослідник бачить шляхи підвищення точності у визначенні прогнозованого значення параметру в прийнятті такої схеми експертизи, яка б забезпечувала б більш "м'які умови" формування суб'єктивної думки у експертів. Таким бажанням дослідника відповідають ті схеми експертизи, які передбачають висловлювання суб'єктивних думок експертів

роду цього явища, то дослідник при організації експертизи пропонує експертам розглядати чітке бінарне відношення переваги. Так матриця суміжностей опису чіткого бінарного відношення для трьох елементів, які складають множину  $D$  може мати вигляд

$$R = \begin{matrix} & d_1 & d_2 & d_3 \\ \begin{matrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

Якщо фактори, які розглядає дослідник при описі моделі реального явища природи, формують нечітке середовище, то він, при потребі, може організувати експертизу, схема якої передбачає висловлення суб'єктивних думок експертів у вигляді нечіткого бінарного відношення несуперорної переваги.

Нечітким відношенням  $\tilde{R}$  на звичайній множині  $D$  називають нечітку підмножину прямого декартового добутку  $D \times D$ , яка характеризується функцією належності  $\mu_{\tilde{R}} : D \times D \rightarrow [0, 1]$ . Значення цієї функції приймаються як суб'єктивна міра відношення  $(d', d'') \in \tilde{R}$ . Так, наприклад, для трьох елементів, які складають множину  $D$ , функція належності нечіткого бінарного відношення несупоряданої переваги може мати вигляд

$$\mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'') = \begin{pmatrix} 1 & 0,9 & 0,4 \\ 0,1 & 1 & 0,7 \\ 0,6 & 0,3 & 1 \end{pmatrix}.$$

Відзначимо, якщо схема експертизи передбачає визначення нечіткого бінарного відношення несупоряданої переваги, то, тим саме, дослідник визначає ще "більш м'які умови" для висловлювання суб'єктивних думок експертів, що відповідає його природній меті: забезпечити більшу точність у визначенні значень параметрів системи управління. Та ще важливо наступне. Якщо фактори, які враховує дослідник, формують нечітке середовище, в якому розглядається природне явище, то і схема експертизи, яку передбачається ставити, може передбачати висловлювання думок експертів у вигляді нечіткого бінарного відношення несупоряданої переваги, бо в нечіткому середовищі чіткі судження відсутні.

Виходячи із змісту нечіткого чи чіткого бінарного відношення несупоряданої чи супоряданої переваги видно, що схема експертизи повинна передбачити розв'язання задачі прогнозування ранжирування елементів деякої множини  $D$ . Але задача, яка полягає в прогнозуванні значення параметра системи управління може бути поставлена як задача ранжирування, якщо множину допустимих оцінок значення параметру експерта  $\Omega_e$  подати у вигляді дискретної

$$\mu_{\tilde{R}_{>}}(d', d'') = \begin{cases} \mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'') - \mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d'', d'), \text{ якщо } \mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'') \geq \mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d'', d'); \\ 0, \text{ якщо } \mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'') < \mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d'', d'). \end{cases} \quad (4)$$

Формування підмножини доцільних елементів  $D_f \subset D$  пов'язане з розглядом задачі звуження множини  $D$ , яке можливе на підставах введення та визначені міри невідомості його елементів.

Елемент  $d^{(q)} \in D$  називають невідомим по відношенню супоряданої переваги, якщо серед елементів множини  $D$  не існує ні одного такого  $d \in D$ , який мав би супорядану перевагу. Якщо серед решти елементів множини  $D$  не існує жодного такого елементу  $d \in D$ , який мав би супорядану перевагу над  $d^{(q)}$ , то кажуть, що підмножина  $\{d^{(q)}\}$  складає ядро нечіткого відношення супоряданої переваги на  $D$ , тобто

$$M_{\tilde{R}_{>}} = \left\{ d^{(q)} \mid \exists d \in D : d \succ d^{(q)}; \forall d, d^{(q)} \in M \right\}. \quad (5)$$

множини, де елементи якої є можливі значення параметру подані з прийнятим шагом.

Висловлюючи свою суб'єктивну думку відносно формування функції приналежності нечіткого бінарного відношення несупоряданої переваги, кожний  $\ell$ -й експерт виходить з того, що значення функції приналежності  $\mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'')$  для кожної пари елементів, які порівнюються визначає ступень виконання переваги: "елемент  $d'$  не гірше" елемента  $d''$ ". Виходячи з того, що нечітке відношення несупоряданої переваги має властивість рефлексивності, то  $\mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d') = 1$ . Якщо  $\mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'') = 0$ , то це означає, що або  $\mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'') > 0$ , що елемент  $d'$  "не гірше" елемента  $d''$ , або  $\mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'') = 0$ , тобто елементи  $d'$  і  $d''$  не можуть порівнюватись між собою. При попарному порівнянні елементів враховується властивість нормування, за якою  $\mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d'', d') = 1 - \mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'')$ .

Виходячи із висловленого вище, кожній  $\ell$ -й експерт своє суб'єктивне судження щодо нечіткого бінарного відношення несупоряданої переваги подає функцією приналежності у вигляді матриці виду

$$\mu_{\tilde{R}_{\leq}}^{(\ell)} = \left\| \mu_{\tilde{R}_{\leq}}(d', d'') \right\|, \quad d', d'' \in \tilde{R}; \ell = \overline{1, L}. \quad (3)$$

Результати висловлені експертами усереднюються, вагові коефіцієнти експертів враховуються, якщо вони вводились, і, в подальшому, розглядається функція приналежності у вигляді матриці  $\mu_{\tilde{R}_{\leq}}$ .

Обробка результатів експертизи полягає в тому, що за виразом формується у вигляді матриці функція приналежності нечіткого бінарного відношення супоряданої переваги.

Функція приналежності ядра нечіткого відношення супоряданої переваги визначається за відношенням

$$\begin{aligned} \mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(d^{(q)}) &= \\ &= \min_{d' \in D} \left[ 1 - \mu_{\tilde{R}_{>}}(d', d^{(q)}) \right], \quad \forall d', d^{(q)} \in D. \end{aligned} \quad (6)$$

Визначимо за (6) функцію приналежності ядра нечіткого відношення супоряданої переваги якщо функція приналежності нечіткого бінарного відношення несупоряданої переваги має вигляд (3). Тоді маємо

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{R}_{>}}(d', d'') &= \begin{pmatrix} 0 & 0,8 & 0 \\ 0 & 0 & 0,4 \\ 0,2 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \\ \mu_{M_{\tilde{R}_{>}}}(d^{(q)}) &= (0,8; 0,2; 0,6). \end{aligned}$$

Значення  $\mu_{\bar{R}}(d^{(q)})$ , виходячи із означення ядра нечіткого бінарного відношення суворої переваги, є рівень невідомості відповідного  $d^{(q)} \in D_f \subset D$ . Якщо розглянута вище експертиза була поставлена з метою визначення прогнозного значення параметру управління, то, виходячи із дискретного подання множини допустимих оцінок експерта, досліднику слід рекомендувати значення параметра управління, яке відповідає  $d^{(q)} = d_1$  та не рекомендувати значення параметра, яке відповідає  $d^{(q)} = d_2$ .

Оперативне управління включає прийняття рішень ОПР безпосередньо перед початком операції та в ході операції. Прийняття рішень за скорочений термін часу потребує оновлення та поповнення інформаційного забезпечення ОПР з урахуванням тих умов, які складаються за скорочений термін часу. Оновлення інформаційного забезпечення передбачає уточнення тих значень параметрів  $d_k, k \leq n$  вектора управління, які є чутливими до умов операції. Поповнення інформаційного забезпечення передбачає прийняття такого значення параметру  $d_r, r < n$  вектора управління, яке можливо визначити при наявності умов, які склалися на момент часу прийняття рішення. Так поповнення та оновлення параметрів вектора управління з метою забезпечення прийняття оперативних рішень можливе лише за умови використання обчислювальної техніки. Методичний підхід, який забезпечує оперативне оновлення та поповнення інформаційного забезпечення прийняття рішень, полягає в наступному.

Припустимо, що розглядається параметр  $d_\eta \in D$ , який має природу стохастичної невизначеності. Якщо статистики відносно значень цього параметру за термін часу  $t_i < t_0, i = \overline{1, m}$  було достатньо, то, як визначено вище, прогнозування на час  $t_k + \tau$  значень цього параметру може відповідати тренду. Таке прогнозування значення параметру, якщо мати на увазі ті принципи, за якими визначається тренд за методом найменших квадратів, що зазначені вище, може не задовольняти ОПР. Тоді в поняття оновлення значення параметру  $d_\eta \in D$  можна вкладати прийняття в якості значення параметру не екстраполяційне значення за трендом, а псевдовипадкове значення випадкової величини  $X_\eta$  – значення параметру  $\eta_k$ , закон розподілу якої є елементом програмного забезпечення автоматизованої системи управління (АСУ). При цьому слід використовувати процедури моделювання псевдовипадкових значень випадкової величини за відомими їх законами розподілів.

В тому разі коли статистики недостатньо для виявлення закону розподілу випадкової величини  $X_\eta$ , або своїм змістом параметр  $d_\eta$  має природу нестохастичної невизначеності, то визначення його значення можливе шляхом постановки, що і відзначено вище, та обробки експертних даних з метою побудови функції приналежності виду (2) та, в подальшому, визначення функції приналежності ядра бінарного нечіткого відношення суворої переваги для множини  $D_\eta^{(\alpha)}$  значень параметру  $d_\eta \in D_\eta^{(\alpha)}$  при прийнятому рівні  $\alpha$  функції приналежності (2). Прийняття рішення по рівню невідомості елементів (значень параметру  $d_\eta$ ) множини  $D_\eta^{(\alpha)}$  відповідає змісту умов, в яких визначається прогнозування значення параметру  $d_\eta$ .

Оперативне оновлення значень параметру  $d_\eta$  полягає в наступному. Заздалегідь в термін часу  $t = t_k - \tau_1 < t_0$  з метою забезпечення в подальшому оперативного оновлення значення параметру  $d_\eta$  ставиться експертиза, в якій експерти незалежні, зворотній зв'язок відсутній.

Кожний  $\ell$ -й,  $\ell = \overline{1, L}$  експерт висловлює свої суб'єктивні судження відносно песимістичної  $a_i^{(\eta, \ell)}$ , найбільш очікуваної  $a_{i.i}^{(\eta, \ell)}$  та оптимістичної  $a_{i.i}^{(\eta, \ell)}$  оцінок значення параметру  $d_\eta$ , за результатами яких визначається функція приналежності  $\mu_{\bar{D}_\eta^{(\ell)}}(x)$  виду (2). Функція приналежності, яка відповідає об'єднанню суб'єктивних думок  $L$  експертів, має вигляд

$$\mu_{\bar{D}_\eta}(x) = \bigcup_{\ell=1}^L \int_{(x \in R)} \left( \mu_{\bar{D}_\eta^{(\ell)}}(x) / x \right); \quad (7)$$

$$\mu_{\bar{D}_\eta}(x) = \begin{cases} \frac{x - a_i^{(\eta)}}{a_{i.o.}^{(\eta)} - a_i^{(\eta)}}, \text{ } \forall \hat{e} \hat{i} \hat{a}_i^{(\eta)} < x \leq a_{i.i}^{(\eta, \ell)}; \\ 1, \text{ } \forall \hat{e} \hat{i} \hat{a}_{i.i}^{(\eta, \ell)} < x \leq a_{i.i}^{(i, \eta)}; \\ \frac{a_{i.i}^{(i, \eta)} - x}{a_{oi}^{(\eta)} - a_{i.i}^{(i, \eta)}}, \text{ } \forall \hat{e} \hat{i} \hat{a}_{i.i}^{(i, \eta)} < x \leq a_{i.i}^{(\eta)}; \\ 0, \text{ } \forall \hat{e} \hat{i} 0 \leq x \leq \hat{a}, x > a_{oi}^{(\mu)}, \end{cases} \quad (8)$$

її слід вважати узагальненою функцією приналежності за судженнями  $L$  експертів та яка подана на рис. 2.

Зміст (8) відповідає тому об'єктивному судженню, яке визначає різне відношення до ризику експертів.

На рис. 2  $\mu_{\bar{D}_\eta^{(\ell)}}$  відповідає деякому експерту  $\ell$ , а  $\mu_{\bar{D}_\eta^{(\bar{\ell})}}$  та  $\mu_{\bar{D}_\eta^{(\underline{\ell})}}$  відповідають експертам  $\bar{\ell}$  та  $\underline{\ell}$ ,

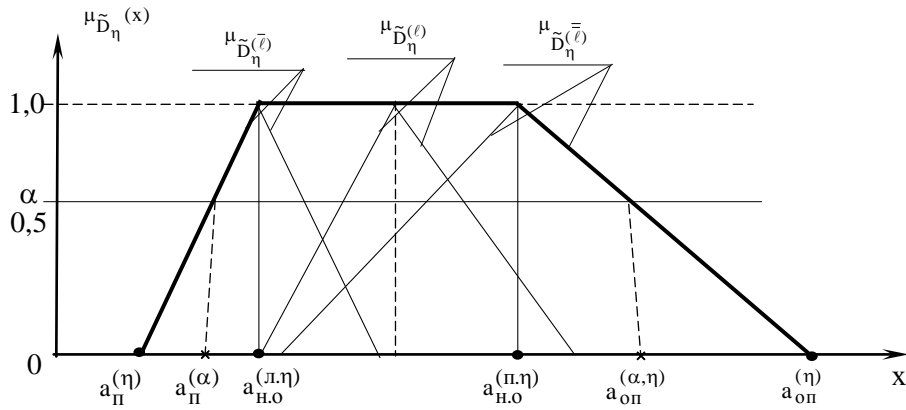


Рис. 2. Узагальнена функція приналежності значення параметру

які відповідно схильні до крайнього песимістичного та оптимістичного суджень. Узагальнена функція приналежності входить до програмного забезпечення відтворення функції приналежності значення параметру  $d_\eta$ , який має природу нестохастичної невідзначеності. За скорочений термін часу за процедурою

$$V_{n+1} = D(11V_n + \pi), \quad (9)$$

де  $V_n$  – псевдовипадкове число, яке отримано на  $n$ -му кроці моделювання;  $V_{n=0}$  – довільне число;  $D$  – символ дрібної частини числа  $(11V_n + \pi)$ , моделюються псевдовипадкові числа за рівномірним законом на інтервалі  $[0, 1]$ . Якщо за (9) буде визначено в результаті моделювання псевдовипадкове число  $V_\ell$  та потім перераховано за виразом  $u_\ell = a + V_\ell(b - a)$ , то будемо мати псевдовипадкове число як результат моделювання, яке відповідає випадковій величині  $Y_\eta$ , яка підпорядкована рівномірному закону розподілу на інтервалі  $[a, b]$ . Введемо до розгляду випадкові величини.  $Y_i^{(\alpha, \eta)}$  – песимістичні значення параметру  $d_\eta$ ,  $Y_{i.i}^{(\alpha, \eta)}$  – найбільш очікувані значення параметру  $d_\eta$ ,  $Y_{i.i}^{(\alpha, \eta)}$  – оптимістичні значення параметру  $d_\eta$ , які можуть приймати свої можливі значення за рівномірними законами розподілів відповідно на інтервалах  $\left[ a_i^{(\alpha, \eta)}, a_{i.i}^{(\alpha, \eta)} \right]$ ,  $\left[ a_{i.i}^{(\alpha, \eta)}, a_{i.i}^{(i, \eta)} \right]$ ,  $\left[ a_{i.i}^{(i, \eta)}, a_{i.i}^{(\alpha, \eta)} \right]$ , де, у відповідності до рис. 2.,  $a_{i.i}^{(\alpha, \eta)}$  дає  $a_{i.i}^{(i, \eta)}$  ліва та права границя найбільш очікуваних значень параметру  $d_\eta$ .

При такому описі, якщо за (9) промоделювати

$\ell$ -те псевдовипадкове значення випадкової величини, яка підпорядкована рівномірному закону розподілу, а потім перерахувати у псевдовипадкові значення випадкових величин  $Y_i^{(\alpha, \eta)}$ ,  $Y_{i.i}^{(\alpha, \eta)}$ ,  $Y_{i.i}^{(\alpha, \eta)}$  підпорядкованих рівномірним законам розподілів на відзначених вище інтервалах, то тим саме буде визначена функція приналежності  $\mu_{\tilde{D}_\eta}^{(\ell)}$  нечіткого

трикутного числа виду (2) значення параметру  $d_\eta$  за результатами суб'єктивних суджень  $\ell$ -го експерту та з урахуванням  $\alpha$ -рівня узагальненої функції приналежності виду (8), де  $\tilde{D}_\eta$  – нечітка підмножина значення параметру.

Результати моделювання  $\ell = \overline{1, L}$  експертів усереднюються та визначається  $\mu_{\tilde{D}_\eta}^z(x)$ . Чітка підмножина носіїв  $\mu_{\tilde{D}_\eta}^z(x)$  подається у вигляді дискретної підмножини значення параметру  $d_\eta$ , для елементів якої визначається функція приналежності ядра бінарного нечіткого відношення суворої переваги як це було визначено вище. Елемент дискретної підмножини значення параметру  $d_\eta$ , якому відповідає найбільше значення його невідомості, буде відповідати оновленому (уточненому) чи поповненому за скорочений термін часу значенню параметру  $d_\eta$ .

Слід прийняти наступний принцип: множина параметрів управління операцією, яка дозволяє ОПР прийняти однозначне рішення, відповідає змісту повного чіткого інформаційного забезпечення прийняття рішення. В практичній діяльності ОПР щодо прийняття будь яких рішень, в тому числі і рішень на управління операцією, як правило, мають місце випадки, коли ОПР повинен приймати рішення в умовах відсутності повного чіткого інформаційного забезпечення. Виникає потреба в чисельній оцінці

правомірності (доцільності) рішень при різних рівнях їх інформаційного забезпечення.

Припустимо, що прийняттю деякого рішення відповідає множина повного чіткого інформаційного забезпечення  $D$ , що складається із п'яти елементів яка подана у прийнятому для нечітких підмножин вигляді, тоді маємо наступне:

$$D: \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \hline \end{array}.$$

Якщо, скажемо, елементи  $x_2$  та  $x_5$  не мають значення, тобто інформація, яку містять ці елементи, ОПР невідома, то множина інформаційного забезпечення  $D_1$  матиме вигляд

$$D_1: \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \\ \hline 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ \hline \end{array},$$

і тоді  $D_1$  є множина неповного чіткого інформаційного забезпечення  $D_{н.ч.}$ .

Якщо деякий елемент, або деякі елементи, множини інформаційного забезпечення мають певне значення із суб'єктивною мірою приналежності до множини інформаційного забезпечення, то множина інформаційного забезпечення є нечітка підмножина  $\tilde{D}$  виду

$$\tilde{D}: \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \\ \hline 1 & 0,8 & 1 & 1 & 0,7 \\ \hline \end{array},$$

то  $\tilde{D}$  слід визначати як повну нечітку підмножину інформаційного забезпечення  $D_{н.неч.}$ .

Якщо деякі значення елементів множини інформаційного забезпечення ОПР не відомі, а відносно інших деяких елементів ОПР може лише визначити їх значення з його суб'єктивною думкою приналежності, тоді множину  $\tilde{D}_1$  слід визначити як неповну нечітку підмножину інформаційного забезпечення  $\tilde{D}_{н.неч.}$ , та вона має вид

$$\tilde{D}_1: \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 \\ \hline 0,8 & 0 & 1 & 0,7 & 0 \\ \hline \end{array}$$

Виходячи із таких понять множин інформаційного забезпечення, слід відзначити, що множина  $D_1$  як множина неповного чіткого інформаційного забезпечення за скорочений час може бути поповнена; підмножина  $\tilde{D}$  як підмножина повного нечіткого інформаційного забезпечення за скорочений термін часу може бути оновлена, підмножини  $\tilde{D}_1$  як неповна нечітка підмножина інформаційного забезпечення за скорочений термін часу може бути поповнена та і оновлена.

Згідно [3] під ефективністю операції розуміють відповідність можливого результату операції тому результату, який передбачається ОПР, а під показником ефективності операції розуміють чисельну міру такої відповідності. З точки зору мети статті, яка подається, та по аналогії з тими поняттями, які викладені в [3], під ефективністю прийняття рішень на управління операцією пропонується розуміти відповідність інформаційного забезпечення (опису вектора управління), яке склалося на момент часу прийняття рішень, з повним чітким інформаційним забезпеченням (вектором управління), а показником ефективності прийняття рішень визначити чисельну міру такої відповідності.

Чисельна міра відповідності інформаційного забезпечення, яке склалося на момент прийняття рішень, з повним чітким інформаційним забезпеченням, тобто показник ефективності прийняття рішень, повинен оцінювати відхилення як множин чіткого неповного інформаційного забезпечення виду  $D_1$ , та і повних і неповних нечітких підмножин виду  $\tilde{D}$  і  $\tilde{D}_1$  від множини  $D$ .

Чіткі неповні множини інформаційного забезпечення можна тлумачити як нечіткі підмножини звичайної множини  $D$  (повної чіткої множини), для якої деякі елементи мають значення функції приналежності, які дорівнюють нулю. При такому узагальненому погляді на множину інформаційного забезпечення, яка складається на час прийняття рішень, можна стверджувати, що чим більше чисельна міра відхилення елементів множин інформаційного забезпечення, яка склалася на час прийняття рішень, від чіткої повної множини інформаційного забезпечення тим більший ризик буде допускати ОПР при прийнятті рішень. Це означає, що показник ризику повинен відповідати чисельній мірі нечіткості нечіткої підмножини, яка описує інформаційне забезпечення на момент часу прийняття рішень. Такому погляду на показник ризику відповідає показник виду

$$E(\tilde{D}, D) = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\mu_D(x_i) - \mu_{\tilde{D}}(x_i)]^2 \right\}^{1/2}, \quad (10)$$

де  $\tilde{D}$  – нечітка підмножина, яка відповідає  $D_{н.ч.}$ ,  $D_{н.неч.}$ ,  $D_{н.неч.}$ ;  $\mu_D(x_i)$  – значення функції належності елемента  $x_i$  множини  $D$ ;  $\mu_{\tilde{D}}(x_i)$  – значення функції належності елемента  $x_i$  підмножини  $\tilde{D}$ .

Показник ефективності прийняття рішень тоді відповідає чисельній мірі чіткості нечіткої підмножини інформаційного забезпечення, яка склалася на час прийняття рішень, та визначається як

$$W(\tilde{D}, D) = 1 - E(\tilde{D}, D). \quad (11)$$

Із (10) та (11) видно, що, якщо на час прийняття рішень ОПР має інформаційне забезпечення, яке ві-

повідіає множині  $D$ , тобто у ОПР є повна та чітка інформація для прийняття рішень, то

$$E(D, D) = 0, W(D, D) = 1.$$

Якщо ОПР має неповну чітку множину інформаційного забезпечення, то

$$E(D_1 = D_{i, \dots}, D) = 0,63;$$

та

$$W(D_1 = D_{i, \dots}, D) = 0,37.$$

Якщо ОПР має інформацію, яка складає зміст повної нечіткої інформаційної забезпеченості

$$\tilde{D} = D_{i, \dots, \hat{a}},$$

то

$$E(\tilde{D} = D_{i, \dots, \hat{a}}, D) = 0,16,$$

а

$$W(\tilde{D} = D_{i, \dots, \hat{a}}, D) = 0,84.$$

Якщо ОПР має неповну нечітку підмножину, яка складає зміст його інформаційного забезпечення, то

$$E(\tilde{D}_1 = D_{i, \dots, \hat{a}}, D) = 0,66;$$

а

$$W(\tilde{D}_1 = D_{i, \dots, \hat{a}}, D) = 0,34.$$

### Висновки

Прийняття рішень ОПР відповідає змісту його інформаційного забезпечення. Прийняття рішень ОПР за скорочений термін часу потребує оновлення та поповнення інформаційного забезпечення, яке може бути забезпечено за скорочений термін часу при розробці спеціального програмного забезпечення, яке реалізує постановку експертиз та обробку експертних даних з метою визначення функцій при-

належностей нечітких підмножин значень параметрів вектора управління. Рішення, яке приймає ОПР, виходячи із того інформаційного забезпечення, яке склалося, відповідають показники ефективності і ризику прийняття рішення ОПР.

### Список літератури

1. Дробаха Г.А., Городнов В.П., Єрмошин М.О., Смірнов Є.Б., Ткаченко В.І. *Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): Монографія.* – Х.: ХВУ, 2004. – 409 с.
2. Більчук В.М., Литвинець Н.І., Ткаченко В.І., Смірнов Є.Б. *Метод вибору раціональної за ефективністю стратегії управління в ході збройної боротьби в умовах її нечіткого інформаційного ресурсу // Системи обробки інформації.* – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 9 (67). – С. 2-10.
3. *Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10-ти томах. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крюкова.* – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
4. Більчук В.М. *Метод формування доцільних стратегій модернізації та створення нових зразків озброєнь // Системи озброєння і військова техніка.* – 2005 – № 2 (2). – С. 39-46.
5. Більчук В.М., Десятов О.В., Николаева И.С. *Метод определения показателей эффективности и риска принятия решения при проведении операции в условиях нестохастической неопределенности // Системи обробки інформації.* – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2003. – Вип. 3. – С. 11-22.

Надійшла до редколегії 5.03.2008

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

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСТОХАСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В.М. Бильчук, В.И. Ткаченко, Е.Б. Смирнов

*Прогнозируемые значения параметров вектора управления не учитывают описание условий среды, которая сложилась на время принятия решений. Предлагается возможный подход автоматизированного обновления и пополнения значений параметров вектора управления на основе определенной предварительно за результатами экспертизы их обобщенной функции принадлежности. Предлагается понятие эффективности принятия решений. Рассматривается показатель эффективности и риска принятия решения за сокращенный срок времени при полном четком, неполном четком, полном нечетком, неполном нечетком уровнях информационного обеспечения.*

**Ключевые слова:** эффективность, принятие решений, информационное обеспечение, оперативность, неопределенность.

## ESTIMATION OF DECISION-MAKING EFFICIENCY IN RELATION TO OPERATIVE MANAGEMENT IN THE CONDITIONS OF UNSTOCHASTIC VAGUENESS OF INFORMATIVE PROVIDING

V.M. Bil'chuk, V.I. Tkachenko, Ye.B. Smirnov

*The forecast values of parameters of management vector do not take into account description of terms of environment which was folded in a time of making a decision. Possible approach of the automated update and addition to the values of parameters of management vector is offered on the basis of certain preliminary as a result of examination of their generalized function of belonging. The concept of efficiency of making a decision is offered. The index of efficiency and risk of decision-making for a brief term time is examined at complete clear, incomplete clear, complete unclear, incomplete unclear levels of the informative providing.*

**Keywords:** efficiency, making a decision, informative providing, operationability, vagueness.