

УДК 621.3.037.3:510.22

Є.Б. Смірнов

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕСТОХАСТИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ МІРИ

Визначається проблема порядку врахування в рішеннях на ведення бойових дій Повітряних Сил впливу нестохастичної невизначеності з використанням нечіткої міри.

**Ключові слова:** нестохастична невизначеність інформації, нечітка міра.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Спосіб сприйняття зовнішнього світу людиною полягає в постійній оцінці «пізнання» інформації. Якщо деякий образ є «новою» інформацією, то реакція розумової діяльності очікується в пошуково-пізнавальній формі, що супроводжується процесом постійного порівняння отриманого образу з тими, які зберігаються в пам'яті людини [6]. При цьому виникають складності у формуванні й оцінці нового образу, сприйняття якого людиною відбувається через відповідні стадії обробки й засвоєння інформації зі збереженням сформованого нового образу в пам'яті. У протилежному випадку сформований образ є варіантом «старої», уже знайомої картини, і тоді реакція людини може включати дії з врахуванням раніше накопиченого

досвіду, застосуванням неодноразово перевірених алгоритмів, при цьому запам'ятовування образу не потрібно.

Органи управління виконують складне завдання обробки безперервного потоку сенсорної інформації (1 – рис. 1), одержуваної з навколишнього світу, а також нової інформації (2 – рис. 1), створюваної людиною на основі обробки сенсорної інформації.

Об'єктивна сенсорна інформація, пройшовши шлях відображення у свідомості людини, оброблена у розроблених алгоритмах, поступово перетворюється в суб'єктивну інформацію (1-го виду), яка має високий ступінь достовірності, що підтверджується реальними даними обстановки, але із внесеним ступенем суб'єктивізму людини.

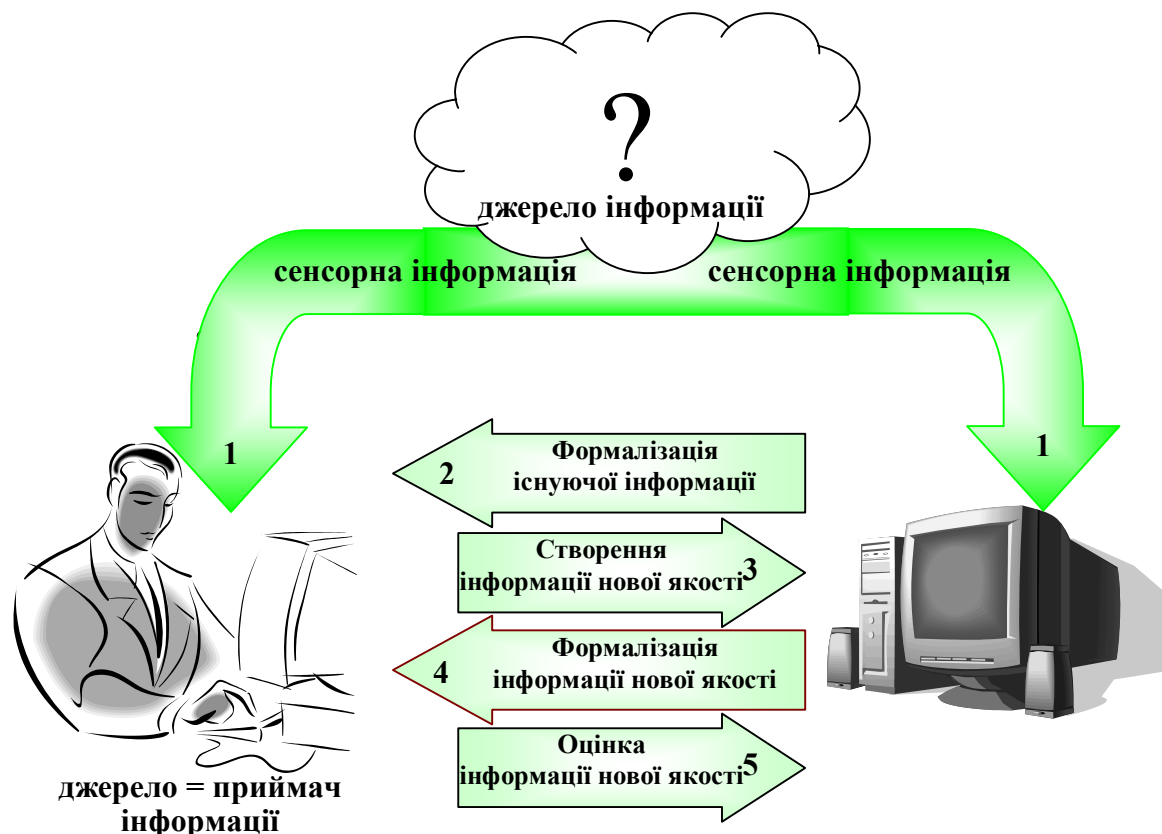


Рис. 1. Схема обробки суб'єктивної інформації при прийнятті рішення

У загальному випадку людина під час формування власних суджень користується суб'єктивною імовірнісною мірою – ступенем впевненості у події, яка виникає у людини на підставі відомих їй даних. У випадку, якщо дані, на які спирається людина є невизначеними (нечіткими), тоді суб'єктивна імовірнісна міра має замінюватися нечіткою мірою, яка вільна від вимоги адитивності [8].

Завдяки здібностям людини уявляти собі можливий розвиток спостережуваних ситуацій, з'являється нова (3, 4 – рис. 1) суб'єктивна інформація (2-го виду), яка на даному етапі її обробки характеризується конкретним ступенем можливого, визначеного самою людиною (5 – рис. 1).

Такі процеси характерні для прийняття рішень при використанні інформаційної рефлексії, яка в теорії ігор припускає формування можливих варіантів розвитку подій за інших «гравців». Якщо припустити, що за даною інформацією будуть прийматися рішення з організації будь-якої цільової діяльності, то така рефлексія буде називатися стратегічною.

Два представлені види суб'єктивної інформації дозволяють людині готувати і приймати рішення. Великі обсяги суб'єктивної інформації людський мозок не в змозі обробити швидко й, у першу чергу, через відсутність готових алгоритмів для обробки різновидової інформації. Крім того, для якісного прийняття рішень необхідно вирішити задачі [1, 5]: формалізації суб'єктивної інформації, створеною людиною; зберігання в базі знань і виводу суб'єктивної інформації; організації безперервно діючого каналу обміну інформацією між людиною й сучасною обчислювальною машиною; створення спеціального програмного забезпечення для обробки такої інформації в машині; обробки суб'єктивної інформації, що зберігається у базі знань для вибору варіантів пропозицій до рішення.

Таким чином, при прийнятті людиною складних рішень виникає проблема у забезпеченні якісної обробки різної за видом інформації, визначення певного ступеня довіри цій інформації й прийняттю рішення з оцінкою ефективності.

Перша частина проблеми полягає у розробці засобів своєчасного надання допомоги людині у створенні, ідентифікації, обробці «нової» відображеної інформації і формуванні відповідних рішень. Для цього потрібні відповідні методи обробки інформації з її розпізнаванням і ідентифікацією з використанням інтелектуальних алгоритмів і сучасних баз знань.

Друга частина проблеми полягає у необхідності оцінювання якості створюваної органами управління інформації. Така інформація відноситься до класу суб'єктивної інформації, але не є тільки результатом відображення й сприйняття реальної дійсності, що відображається у свідомості людини. Мова йде про

другу похідну процесу споглядання реальної дійсності, коли інформація стосується тих ситуацій, які очікуються у розвитку спостережуваних процесів.

Саме тому органам управління бракує для прийняття рішень деяких знань. Саме тому людина створює відсутню, але необхідну нечітку інформацію, виходячи з оцінки змісту поточної інформації, накопиченого досвіду, цільових настанов у планованій діяльності [5].

**Мета статті.** Показати можливість проведення оцінки суб'єктивної інформації та міри її невизначеності при прийнятті рішень.

**Аналіз літератури.** Шукані методи створення, перевірки повноти й оцінки достовірності інформації мають давати можливість людині, що приймає рішення (ЛПР), визначати момент достатності інформаційного наповнення пропозицій до рішення, здійснювати вибір підготовлених варіантів, оцінювати ступінь готовності прийнятого рішення або ступінь впевненості ЛПР у ньому.

Існуючі проблеми у прийнятті рішень щодо управління складними ієрархічними організаційно-технічними системами вимагають пошуку нових напрямків у розвитку і теорії прийняття рішень, і теорії інформації. Цей шлях лежить в удосконалюванні людино-машинних систем, систем з більш глибоким проникненням ЛПР у віртуальне середовище, створювану їм самим, з інтеграцією його інтелекту з інтелектуальним програмним забезпеченням на базі сучасних обчислювальних комплексів [2, 3]. Розроблена інформаційно-аналітична система забезпечення процесів управління має давати можливість ЛПР приймати рішення за встановлений час з одержанням оцінки їх ефективності. Тому для прийняття якісних рішень необхідні певні методи створення, обробки й оцінки суб'єктивної інформації.

## Викладання основного матеріалу

Зазначені шляхи вирішення проблем лежать у розвитку методології процесів прийняття рішень, у пошуку методів зниження невизначеності інформації, а це вимагає її вимірювання, визначення ступеня обґрунтованості пропозицій до рішення.

Багато вчених (Колмогоров А.Н., Глушков В.М., Вінер Н., Урсул А.Д.) в галузі теорії інформації підкреслювали [4, 6, 7], що імовірнісна міра не закриває весь діапазон можливостей цієї теорії, навпаки нестохастична невизначеність інформації привалює при прийнятті рішень та потребує пошуку інших методів оцінки інформації. Розвиток теорії нечітких множин дозволив застосувати відповідні математичні методи для обробки нестохастичної інформації за допомогою спеціального програмного забезпечення.

На рис. 2. наведена існуюча схема-алгоритм управління з'єднаннями і частинами Повітряних

Сил на початку удару засобів повітряного нападу. Формування проміжної інформації для «пізнання» варіанта дій повітряного противника здійснюється на підставі аналізу інформації I і III типу, II тип – суб’єктивна інформації – проходить до блоку 4 без обробці з тим рівнем невизначеності обстановки, який був до удару. Тому у назві блоку 4 наведена

функція «пізнання», а не «розпізнавання». Інформація III типу включає характеристику можливих варіантів дій противника, яка має порівнюватися з характеристиками поточної обстановки, що будується ЛПП на підставі формування суб’єктивної інформації II типу. Вона має пройти певну обробку, але в даній схемі (рис. 2) це є відсутнім.

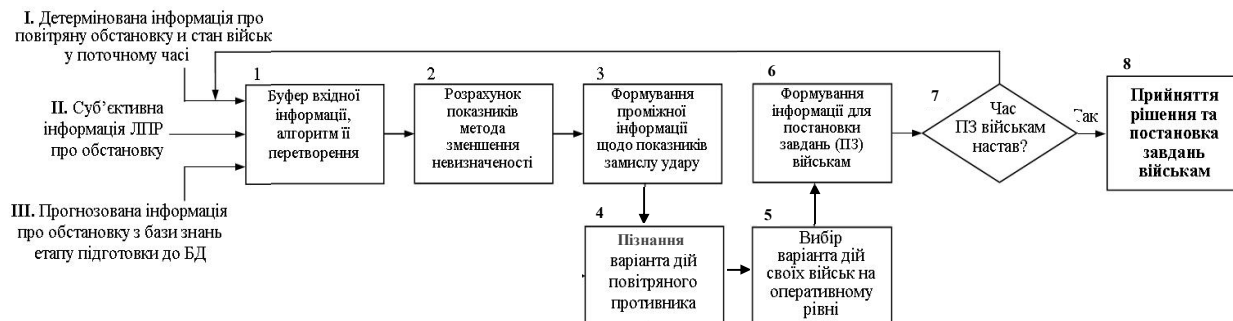


Рис. 2. Існуюча схема-алгоритм прийняття рішень в ході управління з'єднаннями і частинами Повітряних Сил на початку відбиття удару засобів повітряного нападу

Між бл.3 і бл.4 має бути пристрій, який на підставі аналізу сенсорної інформації (I) і аналізу суб’єктивної інформації ЛПП (II) з оцінки обстановки, забезпечить підготовку операції порівняння об’єднаної інформації (I і II) з інформацією (III), що закладена у базі знань ще на початку планування бойових дій у вигляді прогнозних варіантів дій повітряного противника.

Для забезпечення виконання такого складного завдання необхідно провести формалізацію процесів використання зазначених типів інформації (рис.2). Як показано у [5] така (II і III) інформація має оброблятися з застосуванням математичних методів теорії нечітких множин.

Будь-яке нечітке судження органу управління із всієї універсальної множини суджень E при формуванні пропозицій до рішення упаковується у певну нечітку множину A, яка включає параметр  $x_i$ , що описує судження, із значенням його функції  $\mu_A(x_i)$  належності до цієї множини.

$$\forall x_i \in E \quad A \subset E \quad A = \{x_i | \mu_A(x_i)\} \rightarrow \mu_A(x_i) = [0, 1], \\ i = 0, 1..N.$$

Елементом нечіткої множини може бути і лінгвістична змінна, яка має назву, множину значень (терм-множину), синтаксичну і семантичну процедури.

Такі нечіткі множини складають зміст створюваної суб’єктивної інформації, яка зберігається разом з суб’єктивною інформацією першого виду (рис. 1). На базі саме такої інформації готуються пропозиції до рішення й здійснюється його прийняття.

Отже, необхідно вирішити завдання вимірювання створюваної (перетворюваної) інформації, що наповнює пропозиції до рішення, та за оцінкою *нечіткої міри* [8] щодо суб’єктивної інформації ви-

значити якість пропозицій до рішення та ступінь його готовності. Можна створити терабайти інформації, але рішення так й не прийняти. Важливим є контроль з боку командира за рівнем достатності накопиченої інформації (міра можливості) за певний час підготовки рішення, за рівнем обґрунтованості пропозицій (міра довіри інформації), що і формує певний рівень готовності командира прийняти рішення.

Використовуючи стратегічну рефлексію, органи управління суб’єктивно методами експертного аналізу створюють інформацію нової якості відносно можливих дій повітряного противника: можливості вибору ним одного з напрямків удару; вибору ним одного з варіантів побудови бойового порядку засобів повітряного нападу (у складі нечіткої множини груп ЗПН в ешелонах, нечіткої множини ЗПН в групах, нечіткої множини варіантів розподілу висот нанесення удару); можливості вибору одного з варіантів стратегій із нечіткої множини всіх можливих стратегій ведення бойових дій; вибору одного з варіантів мети із нечіткої множини можливих цілей ведення бойових дій тощо.

У відповідь противнику командири на кожний варіант замислу бойових дій формують сукупність адекватних можливих варіантів дій своїх військ (сил), що дозволяє у випадку створення відносно повної сукупності варіантів дій повітряного противника стверджувати про наявність відносно повної сукупності варіантів дій своїх військ (сил) у відповідь.

Формуючи суб’єктивну інформацію у пропозиціях до рішення з використанням нечітких множин, органи управління повинні забезпечуватися і інструментом «вимірювання» такої інформації.

Пропонується розглянути удосконалену схему-алгоритм (рис. 3) прийняття рішення в ході управ-

ління з'єднаннями і частинами Повітряних Сил на початку відбиття удару засобів повітряного нападу.

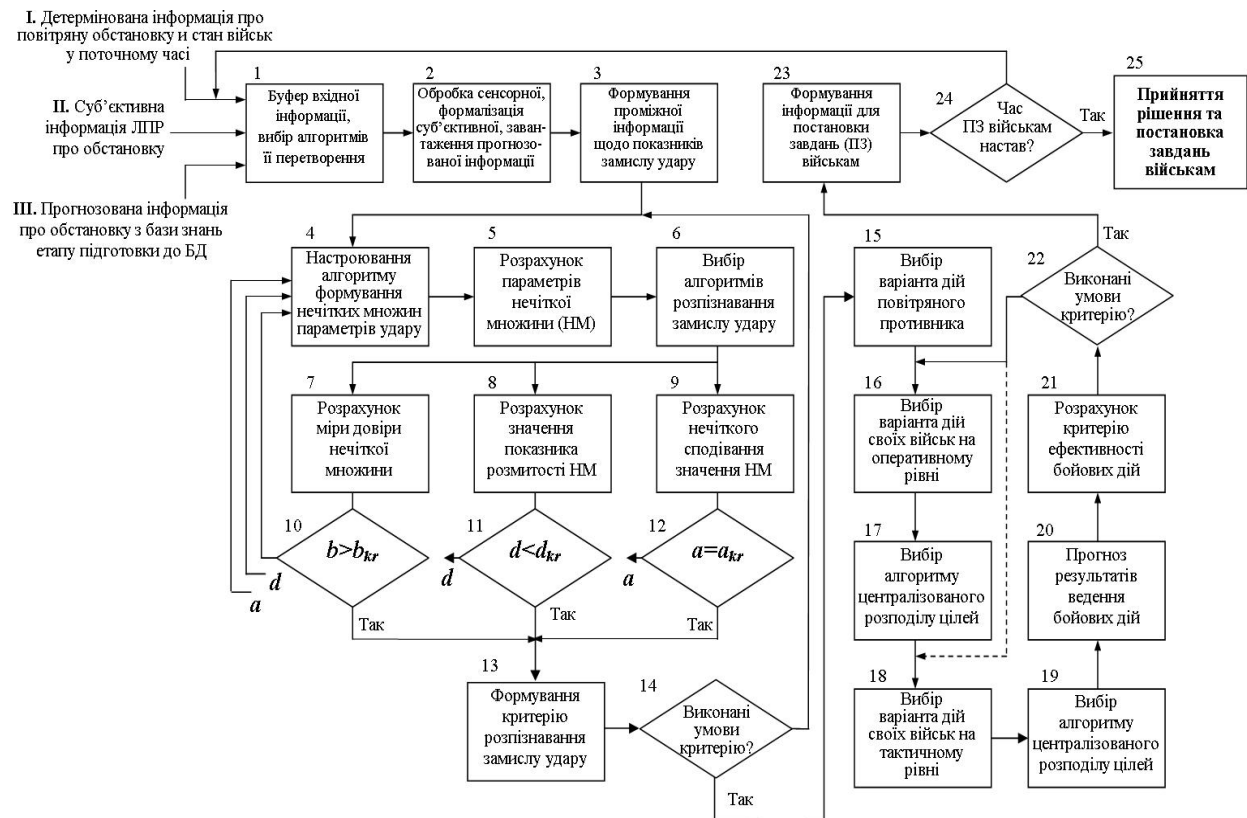


Рис. 3. Удосконалена схема-алгоритм прийняття рішення в ході управління з'єднаннями і частинами Повітряних Сил на початку відбиття удару засобів повітряного нападу

Схема відрізняється від попередньої наявністю шуканого пристрою обробки нечіткої суб'єктивної інформації, який включає блоки 4-22. Передбачається проведення підготовки всіх типів інформації (бл.1-3) для оцінки рівня її невизначеності (нечіткості). Підготовка інформації завершується формуванням нечітких множин, що описують поточний стан обстановки, у тому числі і про нерозпізнаний замісел дій повітряного противника (бл.4). Кожна нечітка множина проходить (бл.5) етап розрахунку параметрів: визначення самої функції належності елементів множини, її носія, висоти, міцності, параметри відношень множин тощо. За параметрами сформованих множин здійснюється вибір алгоритму розпізнавання замислу удару (бл.6).

Таким чином, згідно блоків 4-5 упорядковуються нечіткі множини параметрів варіантів дій повітряного противника, які за обраними алгоритмами підлягають порівняльній оцінці між собою. Той варіант, нечітка множина якого буде мати більшу розраховану ступінь довіри (бл.7), буде більше впливати на рішення командира.

Та певна нечітка множина, яка буде мати більший показник розмитості (бл.8), буде відноситися до більшої невизначеності (рис. 4) і, відповідно, бу-

де створювати ситуацію неготовності органів управління приймати рішення. Наприклад, якщо нечітка множина розрахованих показників ефективності бойових дій, за якими здійснюється критерійна оцінка, буде мати значення функції належності елементів множини біля позначки 0,5, то така ситуація буде характеризувати найбільшу ступінь нечіткості, що не дасть можливість прийняти рішення (ситуація повної невизначеності).

Якщо нечіткі множини дали позитивні параметри функції довіри і розмитості, то наступним кроком постає задача, умовно зображеної на рис. 4, б – задача розрахунку нечіткого сподівання нечіткої множини [8].

Існує прямий зв'язок показника розмитості нечіткої множини з невизначеністю, яка виникає при прийнятті рішень. Так, якщо є завдання вибору значення показника певного процесу (рис. 4), які з різним значенням функції належності входять до нечіткої множини, то можна стверджувати, що показник розмитості  $d(A)$  більше показника розмитості  $d(B)$ .

На рис. 4, б є можливість, управляючи рівнем  $\alpha$  (бл.9), здійснити вибір того або іншого значення показника певного процесу, ситуація на рис. 4, а такого вибору не забезпечує.

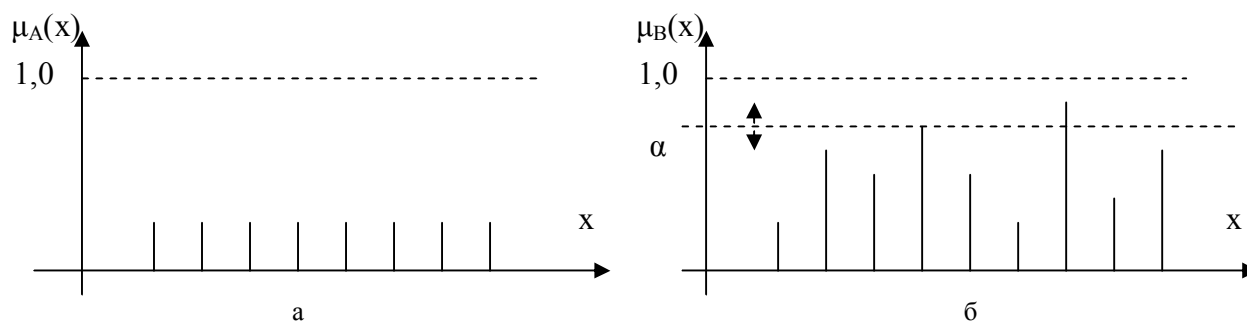


Рис. 4. Приклади множин з більшою (а) і меншою (б) розмитістю нечіткої множини А і В відповідно  $d(A) > d(B)$

На підставі проведених розрахунків показників нечіткості (бл.7-9) згідно бл. 10-12 здійснюється критерійна оцінка готовності системи забезпечити процес розпізнавання замислу дій повітряного противника. При цьому формується узагальнений критерій (бл.13), який використовується (бл.14) для вибору завчасно розроблених та всебічно обґрунтованих варіантів дій противника (бл.15). Результати вибору органів управління дають підстави вибору з бази знань (бл.16) завчасно обґрунтованого варіанта дій своїх військ (сил) у відповідь на оперативному рівні управління. Обраний варіант дій оперативного рівня передбачає [5] не тільки вибір алгоритму централізованого розподілу цілей (бл.17), але і вибір варіантів тактичних дій підпорядкованих військ (сил) (бл.18) з рекомендаціями щодо вибору алгоритму централізованого розподілу цілей вогневим каналам (бл.19).

За результатами прогнозу розвитку ситуацій (бл.20), що складаються, здійснюється розрахунок показника і критерію ефективності бойових дій (бл.21, 22), за значеннями яких здійснюється формування інформації (бл.23) для постановки завдань військам (силам) та у визначений час (бл.24) приймається рішення і здійснюється постановка завдань (бл.25).

Теорія нечітких множин має порядок розрахунку показника розмитості нечіткої множини, наприклад, міра ентропії [8], яка характеризується як: 1) внутрішня невизначеність (двозначність, суперечливість); 2) міра відмінності нечіткої множини від звичайної.

Глобальний показник розмитості нечіткої множини можна визначити у вигляді функціоналу  $d$ , який задовольняє умовам, що наведені у [8]. Прикладом розмитості нечіткої множини повітряних цілей, які можуть наносити удар по об'єктам прикриття, може слугувати логарифмічна ентропія нечіткої множини [8]

$$d(A) = \sum_{j=1}^n S_j(\mu_A(x_j)),$$

де  $S(z) = -(z \ln z + (1-z) \ln(1-z))$  – функція Шенона.

Метричний підхід передбачає визначення міри відмінності нечіткої множини від найближчої звичайної множини [8].

Показником розмитості є функціонали (1) і (2)

$$d(A) = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N |\mu_A(x_j) - \underline{\mu}_A(x_j)|; \quad (1)$$

$$d(A) = \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N \mu_{A \cap \bar{A}}(x_j). \quad (2)$$

Якщо замість відстані Хемінга використати евклідову відстань, то отримуємо [8]

$$d(A) = \frac{2}{\sqrt{N}} \sqrt{\sum_{j=1}^N (\mu_A(x_j) - \underline{\mu}_A(x_j))^2}. \quad (3)$$

Другий спосіб завдання показника розмитості за допомогою метрики полягає у визначенні відстані до максимально розмитої нечіткої множини  $A_{0.5}: \forall x \in X \mu_{A_{0.5}}(x) = 0,5$  і відстані між нечіткою множиною та його доповненням [8].

Таких підходів достатньо, щоб визначити ступінь нечіткості окремої множини, визначити ступінь її розмитості. Але потрібно ще проводити виміри щодо визначення достатності інформації для прийняття рішення, яка визначається ступенем можливості, ступенем впевненості ЛПР в такій інформації. Один з можливих підходів може ґрунтуватися на побудові нечіткої міри, вільної від низки обмежень імовірнісної міри.

Для висловлення  $A$ , яке має певну ступінь істинності  $s \in [0,1]$ , існує міра довіри, що визначається за допомогою функції [8]

$$b(B) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } B = X; \\ s, & \text{якщо } B \supset A, B \neq X; \\ 0, & \text{якщо } A \not\subset B, \end{cases} \quad (4)$$

яка називається простою функцією носія, зосередженою на  $A$ .

Якщо  $s = 1$ , то отримуємо міру, яка називається мірою визначеності, зосередженою на  $A$ . Якщо  $s = 0$  або  $A = X$ , то тоді  $b(B)$  називається пустою функцією довіри (повне незнання).

Функція довіри розкрита у [8], яку можна використовувати для визначення ступеня довіри (впевненості) органів управління отриманим новим значенням досліджуваних показників, наприклад, отриманих через незалежні джерела інформації (або проведених розрахунків незалежними методами).

Використовується узгоджена функція довіри, яка базується на визначенні ядра множини  $C = \{B \subset X \mid m(B) > 0\}$ , повністю упорядкованої за вкладенням.

До нечітких мір можна віднести міру правдоподібності множини  $A$  із  $X$ , а саме  $Pl(A) = 1 - b(\bar{A})$ , де  $b(\bar{A})$  функція довіри (впевненості). Як можна побачити міра довіри і міра правдоподібності зв'язані між собою.

У [8] введено поняття нечіткого інтегралу, який прийнято називати нечітким сподіванням значень функції належності у конкретних визначених умовах (розраховується у бл.9 рис. 3).

Значення нечіткого інтегралу від функції належності (рис. 5) по нечіткій мірі здійснюється [8] за формулою (5) або методом практичних випробувань.

$$n(x, A) = \int_A \mu(x) \circ g = \sup_{a \in [0,1]} (a \wedge g(A \cap H_a)), \quad (5)$$

де  $H_a = \{x \mid \mu(x) \geq a\}$ .

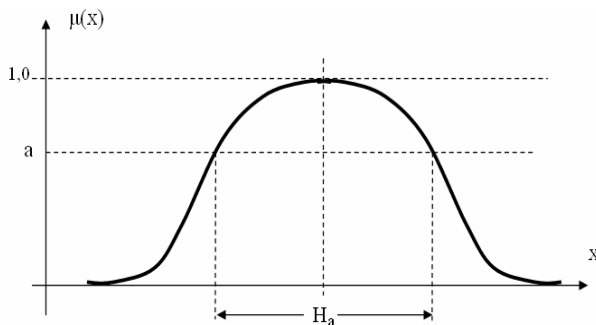


Рис. 5. Поняття нечіткого інтегралу для визначеної функції належності елементів нечіткої множини

Нечіткий інтеграл є нечітким сподіванням значення функції належності  $\mu(x) = a$ , при якому значення елементів  $x \in H_a$ , а  $\mu(x) \geq a$ . Іншими словами, вирішується оптимізаційна задача пошуку такого значення  $\mu(x) = a$ , при якому обмежена кількість елементів нечіткої множини перевищує розраховане значення та дає можливість прийняти відповідне рішення.

Збільшення значення  $\mu_g(x) = a$  призводить до звуження діапазону елементів  $x \in H_a$ , що може привести до втрати елементів, а зменшення  $\mu_g(x) = a$  розширює діапазон елементів  $x \in H_a$ , що заважає

прийняттю відповідного рішення стосовно вибору елементів нечіткої множини, які задовольняють критерій  $\mu(x) \geq a$ .

## Висновки

Новизна представленого алгоритму прийняття рішення (рис. 3) полягає у комплексному врахуванні різних видів інформації, у тому числі і суб'єктивної, що дозволяє зменшити рівень невизначеності обстановки і за певних умов прийняти обґрунтоване рішення, комплекс блоків 4-14 (рис.3) для інформаційно-аналітичної системи забезпечення процесів управління є новими.

## Список літератури

1. Бондарев В.Н. Искусственный интеллект: [учеб. пособие для вузов] / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь: СевНТУ, 2002. – 615 с.
2. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьев и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.
3. Герасимов Б.М. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизинюк, И.Ю. Субач; под ред. Б.М. Герасимова. – Севастополь: Издательский центр СНИЯЭиП, 2004. – 319 с.
4. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
5. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов / А.Н. Колмогоров. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
5. Теорія прийняття рішень органами військового управління: монографія / В.І. Ткаченко, Г.А. Дробаха, Є.Б. Смірнов, А.В.Тристан та ін.; за ред. В.І. Ткаченка, Є.Б. Смірнова // Міністерство оборони України. – Х.: ХУ ПС, 2008. – 545 с.
6. Урсул А.Д. Информация. Методологические аспекты / А.Д. Урсул. – М.: Наука, 1971. – 135 с.
7. Энциклопедия кибернетики: [в 2 т.] / В.М. Глушков, Н.М. Амосов, И.А. Артеменко и др. – К.: Украинская Советская энциклопедия, 1974. – 660 с.
8. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие / Г.Э. Яхьяева. – 2-е изд., испр. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 316 с.

Надійшла до редколегії 19.03.2010

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

## ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕСТОХАСТИЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ МЕРЫ

Е.Б. Смирнов

Определяется проблема порядка учета в решениях на ведение боевых действий Воздушных Сил влияния нестохастической неопределенности с использованием нечеткой меры.

**Ключевые слова:** нестохастическая неопределенность информации, нечеткая мера.

## DECISION-MAKING PROBLEMS IN THE CONDITIONS OF UNSTOCHASTIC VAGUENESS OF INFORMATION WITH THE USE OF UNCLEAR MEASURE

E.B. Smirnov

The problem of order of account is determined in decisions on the conduct of battle actions of Aircrafts of influencing of unstoхastic vagueness with the use of unclear measure.

**Keywords:** unstoхastic vagueness of information, unclear measure.