

Мазуренко І. М.

(0000-0002-0693-1434)

Бочарніков В. П., доктор технічних наук, професор

(0000-0003-4398-5551)

Свешніков С. В., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник (0000-0001-8924-4535)

Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## Визначення оптимального каналу спостереження кількісних характеристик держав

**Резюме.** У статті автори обґрунтовують канал спостереження (за Дж. Кліром) кількісних (числових) характеристик держав, таких як площа, чисельність населення та ін., для подальшого використання оцінок в наукових та аналітичних задачах оцінювання, прогнозування, класифікації і кластеризації.

**Ключові слова:** канал спостереження; воєнно-політичний аналіз; функція належності; сепарабельність; розмитість.

**Постановка проблеми.** Вирішення наукових та науково-аналітичних задач в області воєнно-політичного аналізу за допомогою чисельних методів майже завжди потребує отримання оцінок держав за характеристиками (властивостями) двох типів: кількісними та якісними. Прикладами кількісних характеристик можуть служити площа держави, довжина берегової лінії, чисельність населення, розмір валового внутрішнього продукту. Прикладами якісних характеристик можуть служити тип політичної системи, наявність гірських місцевостей, вихід до моря тощо. Вимірювання якісних характеристик має свої особливості та може бути предметом окремого дослідження. Ця стаття спрямована на вимірювання кількісних характеристик, оскільки саме кількісні характеристики більшою мірою забезпечують об'єктивність оцінювання.

Для подальшої обробки даних ці характеристики мають бути представлені однаково, у єдиному базисі. Тоді можна використовувати різні методи композиції, наприклад, арифметичну згортку [1], методи теорії нечітких множин [2], нечітко-інтегральне числення [3] та інші.

Пропонується наступна ідея вимірювання кількісних характеристик. Кожна характеристика приймає значення з множини значень. Залежно від цілей дослідження і обраних методів вимірювання, ці значення можуть бути представлені по-різному. Наприклад, територія держави може бути виміряна в квадратних кілометрах, але в іншому разі вона може бути виміряна в лінгвістичних термінах: “велика”, “середня”, “невелика”. Іншими словами, для

вимірювання характеристики потрібно визначити шкалу вимірювання і процедуру відображення значення характеристики до цієї шкали. Головна вимога до шкали і процедури перетворення, які поєднуються концепцією каналу спостереження, складається в забезпеченні адекватності вимірювання, тобто в необхідності збереження фізичного смислу результату вимірювання та його мінімального викривлення. Канал спостереження має багато варіантів побудови. Звідси виникає задача вибору такого варіанта, який забезпечував би максимальну адекватність.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Уперше поняття каналу спостереження було запропоновано Дж. Кліром [4] щодо дослідження складних систем. Відповідно до його підходу, система розглядається як сукупність об'єктів та взаємозв'язків між ними. Зі свого боку, кожний об'єкт описується сукупністю властивостей, а кожна  $i$ -та властивість під час дослідження спостерігається та вимірюється за допомогою каналу спостереження, яким називають відображення вигляду

$$o_i : A_i \rightarrow V_i, (1)$$

де  $a_i \in A_i$  – виділені властивості об'єкта;

$V_i$  – множина станів змінної  $v_i$ ,  $i \in N$ ;

$N$  – кількість врахованих властивостей об'єкта.

Формально канал спостереження визначається розбиттям множини станів змінної  $V_i$  на блоки еквівалентності значень змінної та властивостями відображення (1).

Будь-який канал спостереження має дві складові: вимірювальний пристрій і процедуру (алгоритм) вимірювання. Залежно від властивостей об'єкта дослідження, як

вимірювальний пристрій можуть бути застосовані фізичний пристрій (для вимірювання простих властивостей, наприклад, відстані), людина (для вимірювання складних, композитних властивостей, частіше за все, у разі відсутності іншого інструмента) або група людей (маркетингова, рейтингова компанія, експертна група тощо).

Адекватність вимірювання значення змінної  $V_i$  визначається коректністю вибору вимірювального пристрою і процедури його застосування. До того ж вимірювальний пристрій має:

взаємодіяти з об'єктом і під час взаємодії не порушувати його функціонування;

перетворювати вимірювану властивість об'єкта у значення відповідної змінної з мінімальними помилками.

Канал спостереження в розумінні (1) надає основу для вирішення широкого кола наукових задач у відомих дослідженнях. Зокрема, в дослідженні [5] автор використовує кілька однотипних каналів спостереження для виявлення рухомої цілі на основі правила "простої більшості" ("Majority Voting"). Оброблення даних на основі комбінування основного та кількох допоміжних каналів спостереження використано для побудови трас рухомих об'єктів в радіолокації [6].

Для представлення вимірюваних змінних часто використовуються лінгвістичні змінні, які вперше запропонував Л. Заде [7]. Зокрема, автори дослідження [8] використовують лінгвістичні змінні для опису вхідних даних одного з індикаторів у задачі оцінювання бібліотечного та інформаційного обслуговування. Побудова каналів спостереження на основі трикутних функцій належності досліджена у задачі розпізнавання образів [9].

Автори дослідження [10] вирішують задачу фільтрації сигналу (значення змінної) на випадок безперервного каналу спостереження в умовах складних нестационарних перешкод. Задача спостереження значення змінної також в умовах перешкод, але для кількох каналів спостереження, що можуть переключатись, розглянута в роботі [11]. Фільтрація сигналів у дискретному часі за допомогою лінійного каналу спостереження описана в дослідженні [12].

Задача пошуку оптимального каналу спостереження та збігання рішення

вирішувалась авторами дослідження [13] у процесі стохастичного управління. Схожа задача вирішувалась у дослідженні [14]. Обмежена пропускна спроможність каналу спостереження досліджувався авторами роботи [15].

Аналіз відомих наукових публікацій показав, що канали спостереження як конструкція (1) використовуються для вирішення широкого кола наукових задач. Особливості цих задач визначають й особливості задачі побудови каналів спостереження. Водночас, публікації стосовно побудови каналу спостереження кількісних характеристик держав, які враховували б характерні риси задач воєнно-політичного аналізу, на сьогодні відсутні. Отже поставлену задачу можна вважати актуальною.

**Мета, задачі та обмеження дослідження.** *Мета статті* полягає у розробленні оптимального (у сенсі обраних критеріїв) каналу спостереження кількісних характеристик держав, який дасть змогу отримати значення відповідної змінної і використовувати далі в наукових та науково-аналітичних задачах воєнно-політичного аналізу. Як слідує з постановки задачі, для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі *підзадачі*:

обрати тип каналу спостереження, найбільш раціональний з погляду особливостей наукових та науково-аналітичних задач воєнно-політичного аналізу;

обрати критерії оцінювання каналу спостереження та розробити алгоритм їх розрахунку, зважаючи на вимоги забезпечення адекватності;

сформувати кілька варіантів побудови каналу спостереження і обрати оптимальний канал на основі висунутих критеріїв.

Дослідження проводились за таких *обмежень*:

досліджувалась множина каналів спостереження, які мають однакову і симетричну форму функцій блоків визначеної змінної на усьому визначеному універсумі для змінної. Це обумовлено тим, що в задачах воєнно-політичного аналізу оцінки числових характеристик мають абсолютні значення переважно більш нуля (наприклад, чисельність населення, площа території тощо), та відносно рівномірні з погляду впливу на подальші розрахунки;

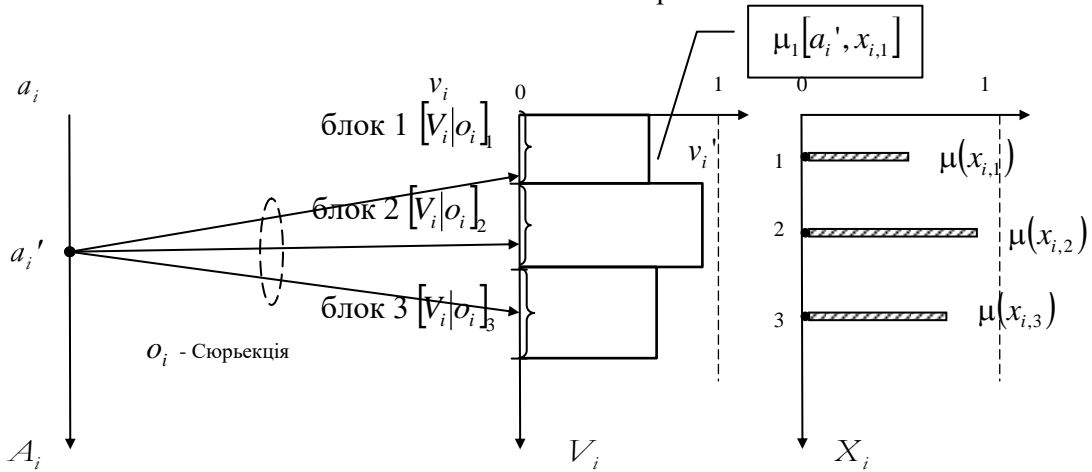
покриття універсуму змінної функціями блоків передбачалося рівномірним – пояснюється тим, що окремі інтервали з

усього діапазону змінної є однаково важливими з погляду впливу на оцінку властивості.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо вирішення зазначених підзадач.

Вибір типу каналу спостереження. Будь-який канал спостереження у сенсі відображення (1) формує на множині  $V_i$

значень змінної  $v_i$  розбиття на блоки  $[V_i|o_i]_k, k \in N_k$ , як показано на рис. 1. Розмір блоків залежить від точності вимірювального пристрою. Іншими словами, розмір блоків визначає “зернистість” зображення досліджуваного об’єкта в системі або роздільну спроможність каналу спостереження.



**Рис. 1. Формування значення змінної в каналі спостереження**

Значення властивості  $a_i$  всередині блоку  $[V_i|o_i]_k, k \in N_k$  еквівалентні. Вони не відрізняються вимірювальним пристроєм і процедурою вимірювання. Один блок відповідає одному стану змінної  $v_i, i \in N$ . Для конкретного прояву властивості чітке та однозначне визначення блоку змінної буде забезпечено за таких умов:

- помилки вимірювального пристрою є істотно меншими за розмір блоків;
- вимірювання потрапляє всередину блоку;
- відображення є функціональним.

Якщо прояв властивості  $a_i \in A_i$  має образ на межі блоків розбиття  $[V_i|o_i]_k, k \in N_k$  множини значень змінної  $V_i$ , то спостерігається невизначеність вибору блоку, що призводить до недостовірності вимірювання.

Блок  $[V_i|o_i]_k, k \in N_k$  є підмножиною множини змінної  $V_i$ , тобто  $\forall k \in N_k, [V_i|o_i]_k \subset V_i$ . Кількість виділених блоків  $N_k$  визначає потужність множини станів змінної  $v_i$ . У загальному випадку кожен  $k$ -й блок для  $i$ -ї змінної має назву  $x_{ik}$ . Назви блоків визначають множину  $X_i$  для

кожної змінної  $v_i$ . Кожен блок  $[V_i|o_i]_k, k \in N_k$  формалізується відповідною функцією належності  $\varphi_{[V_i|o_i]_k}(v_i'): V_i \rightarrow [0,1]$ , де  $v_i'$  – конкретне значення змінної для прояву  $a_i \in A_i$ . Тоді для кожного значення властивості об’єкта  $a_i \in A_i$  канал спостереження дасть змогу отримати вектор

$$\mu_i(v_i) = [\mu_1(v_i) \mu_2(v_i) \dots \mu_{N_k}(v_i)],$$

$$\mu(v_i): X_i \rightarrow [0,1],$$

де  $\mu_k(v_i) = \varphi_{[V_i|o_i]_k}(v_i') \in [0,1], k \in N_k$  – значення рівня схожості поточного прояву властивості  $a_i \in A_i$  з  $k$ -м блоком значень змінної  $v_i$ . Дискретна функція  $\mu(v_i)$  є функцією належності. У більш загальному випадку функція  $\mu(v_i)$  може бути розподілом щільності нечіткої міри, яка визначається на множині  $X_i$ .

Залежно від характеру блоків і властивостей відображення розрізняють чотири типи каналів спостереження [16]:

*чіткий* – межі блоків чіткі (не розмиті), відображення є функцією (одному прояву властивості відповідає один блок);

*імовірнісний* – межі блоків чіткі (не розмиті), відображення не є функцією (ступінь належності прояву властивості до блоку визначається частотою потрапляння у блок);

*нечіткий з чіткими блоками* – межі блоків чіткі (не розмиті), відображення не є функцією (ступінь належності прояву властивості до блоку визначається впевненістю);

*нечіткий з нечіткими блоками* – межі блоків нечіткі (розмиті), відображення не є функцією (ступінь належності прояву властивості до блоку визначається впевненістю).

Чіткі канали спостереження, у яких множину станів змінної розбивають на чіткі блоки, а відображення  $o_i : A_i \rightarrow V_i$  є функціональним, часто складно застосувати в задачах оцінювання. Це пов'язано з такими проблемами:

Відображення  $o_i : A_i \rightarrow V_i$  може бути нефункціональним, тобто ін'єктивним або сюр'єктивним;

помилки вимірювання вимірювального пристрою не сумірні з розмірами блоків; присутня невизначеність на межах блоків тощо.

Отже краще застосовувати нечіткі канали спостереження.

Нечіткий канал спостереження може бути описаний відображенням  $\tilde{o}_i : A_i \times V_i | o_i \rightarrow [0,1]$ . Оскільки кожен блок  $[V_i | o_i]_k, k \in N_k$  має своє ім'я  $x_{ik} \in X_i$ , то нечіткий канал спостереження можна навести у вигляді відображення

$$\tilde{o}_i : A_i \times X_i \rightarrow [0,1]. \quad (2)$$

Відображення (2) зіставляє кожній парі прояву властивості з  $A_i$  і блоку змінної з множини блоків  $V_i | o_i$  деякий ступінь впевненості, визначеної в одиничному інтервалі. На виході каналу спостереження будемо спостерігати функцію належності  $\mu(v_i) : X_i \rightarrow [0,1]$ .

Порівняльні характеристики каналів спостереження наведені в Табл. 1.

Таблиця 1

**Порівняльні характеристики каналів спостереження**

Тип каналу	Чіткий	Імовірнісний	Нечіткий з чіткими блоками	Нечіткий з нечіткими блоками
<b>Характеристики</b>				
Можливість неоднозначного відображення	Ні	Ні	Так	Так
Неможливість похибки на межі блоку	Ні	Ні	Припускається	Так
Простота формалізації блоку	Так	Так	Так	Ні
Можливість одержання значень за одним вимірюванням	Так	Ні	Так	Так
Можливість уніфікації різних проявів властивостей	Ні	Припускається	Так	Так

Як показує аналіз таблиці, для опису вхідних даних у задачах воєнно-політичного аналізу найкращими є нечіткі канали спостереження з чіткими блоками.

Критерії оцінювання каналу спостереження і алгоритм їх розрахунку.

Розрахунок критеріїв оцінювання каналу спостереження має базуватись на його параметрах, а самі критерії мають характеризувати адекватність вимірювання, що було визначено вище. Як витікає з рис. 1, основними параметрами каналів спостереження є кількість блоків  $N_k$ , носій і форма функції належності  $\mu(v_i) : X_i \rightarrow [0,1]$ . Спрощений приклад нечіткого каналу

спостереження з нечіткими блоками показано на рис. 2.

Адекватність вимірювання є вимогою, найбільш складною для формального опису, оскільки вона є категорією з багатьма смислами і може відображати багато контекстів. Зважаючи на обраний тип каналу спостереження та складу його параметрів, пропонується характеризувати адекватність трьома критеріями: розмитістю функцій належності, сепарабельністю і складністю побудови всього каналу спостереження. Ці критерії далі будуть використані для вибору найбільш оптимального каналу спостереження.

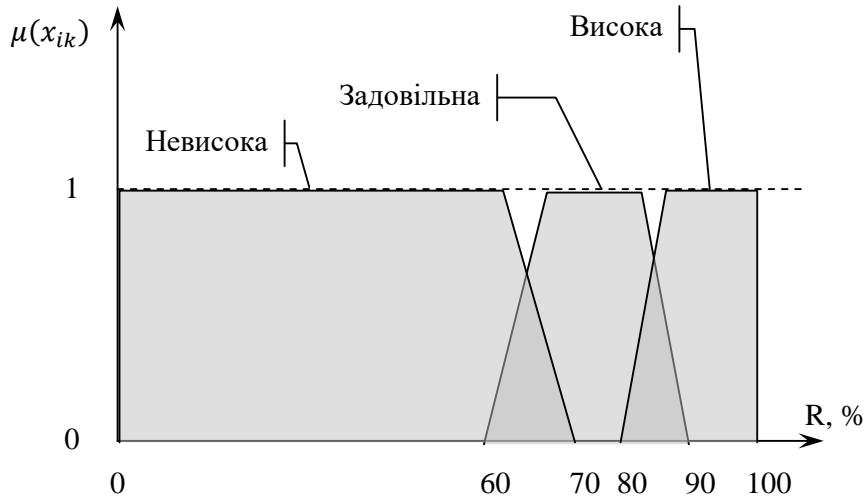


Рис. 2. Канал спостереження для вимірювання характеристики “Боездатність збройних сил”  $R$

Зазначимо фізичний смисл критеріїв та алгоритм їх розрахунку.

Складність побудови каналу спостереження прямо пропорційна кількості блоків  $N_k$ , оскільки кожний блок потребує побудову власної функції належності. Прийmemo, що значення критерію складності розраховуватиметься як відношення кількості блоків  $N_k$  до максимально можливої кількості блоків (яка ототожнюватиметься з найбільш складним каналом спостереження). Такий підхід обумовлюється тим, що збільшення блоків каналу спостереженні збільшує розмірність вихідної функції  $\mu(v_i)$ , а це тягне за собою збільшення розмірності визначення об’єкта дослідження та ускладнює проведення розрахунків. Далі треба знайти найкращий канал для використання. Для цього в загальному алгоритмі вибору каналу спостереження буде розраховуватись зворотний до складності частковий критерій – критерій простоти, який визначається за формулою

$$J_1(\tilde{\sigma}_r) = 1 - \frac{\text{Card}(X_i^r)}{\max_{j=1, \overline{K}} \text{Card}(X_i^j)}, \quad (3)$$

де  $\tilde{\sigma}_r, r = \overline{1, K}$  – канал спостереження, що досліджується;

$K$  – кількість каналів спостереження, що досліджується;

$\text{Card}(X_i)$  – потужність множини блоків змінної в каналі спостереження  $\tilde{\sigma}_r$ .

Визначений критерій має логіку: чим більше блоків каналу спостереження, тим він гірше, і навпаки, чим менше блоків, тим канал спостереження краще.

Критерій сепарабельності розраховується відповідно до такої логіки: канал спостереження повинен максимально чітко розрізняти значення проявів властивості об’єкта дослідження у разі їх максимального наближення один до одного. Підкреслимо, що сепарабельність має бути забезпечена на всій множині можливих проявів властивості об’єкта дослідження. У зв’язку з цим критерій сепарабельності розраховується таким чином:

$$J_2(\tilde{\sigma}_r) = \frac{1}{M} \left\{ d \left[ \mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i^m), \mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i^{m+1}) \right] \right\}, \quad (4)$$

де  $d \left[ \mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i^m), \mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i^{m+1}) \right]$  – відстань Евкліда між векторами  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i^m)$  та  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i^{m+1})$ , які формалізують прояв  $i$ -ї властивості об’єкта дослідження в точках  $v_i^m$  та  $v_i^{m+1}$  для каналу спостереження  $\tilde{\sigma}_r$ , а точки впорядковані з меншого можливого значення  $v_i^0$  до максимального можливого значення  $v_i^M$ ;

$M$  – максимальна кількість визначених значень змінної для дослідження на множині.

Визначений таким чином критерій має сенс: сусідні прояви властивості у разі функціонального відображення мають зображення у вигляді близько розташованих значень змінних  $v_i^m$  та  $v_i^{m+1}$ . У цьому разі для обраного каналу спостереження  $\tilde{\sigma}_r$  треба забезпечити на всьому інтервалі можливих проявів властивості умову, коли відповідні

функції  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i^m)$  та  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i^{m+1})$ , які формалізують змінну в каналі спостереження, були якомога віддалені одна від одної. Відстань між значеннями  $v_i^m$  та  $v_i^{m+1}$  обирається відповідно до особливостей задачі дослідження. Було розглянуто рівномірну відстань між  $v_i^m$  та  $v_i^{m+1}$  на всьому діапазоні значень  $V_i$ . Таким чином, сепарабельність характеризує рівень розрізнення результатів вимірювання двох близьких значень властивості в каналі спостереження. Сепарабельність залежить не лише від кількості блоків  $N_k$ , а й від форми функцій належності  $\varphi_{[V_i|o_i]_k}(v_i')$ .

*Критерій чіткості функцій належності в каналі спостереження.*

$$J_3(\tilde{\sigma}_r) = Sp[\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i')], \quad (5)$$

де  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i') = [\mu_{\tilde{\sigma}_r}^1(v_i'), \dots, \mu_{\tilde{\sigma}_r}^k(v_i'), \dots, \mu_{\tilde{\sigma}_r}^{N_k}(v_i')]$  – функція належності на виході каналу спостереження  $\tilde{\sigma}_r$  для усіх  $k = \overline{1, N_k}$  блоків;

$Sp[\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i')]$  – міра точності функції належності  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i')$ , яка впорядкована за зменшенням, тобто  $\forall k = \overline{1, N_k}, \mu_{\tilde{\sigma}_r}^k(v_i') \geq \mu_{\tilde{\sigma}_r}^{k+1}(v_i')$  розраховується за формулою

$$Sp[\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i')] = \sum_{k=1}^{N_k-1} \frac{1}{K} [\mu_{\tilde{\sigma}_r}^k(v_i') - \mu_{\tilde{\sigma}_r}^{k+1}(v_i')]. \quad (6)$$

Запропоновані критерії вибору оптимального каналу спостереження є суперечливими. Збільшення кількості блоків  $N_k$  поліпшує сепарабельність через те, що зменшує кількість значень змінної  $v_i$ , які оцінюватимуться як ідентичні. Проте одночасно збільшення кількості блоків  $N_k$  погіршить критерій складності. З іншого боку, зниження чіткості функції належності  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i')$  погіршить сепарабельність. Вибір форми функції належності також визначатиме суперечливі значення критеріїв, оскільки різні функції впливатимуть одночасно по-різному і на сепарабельність, і на розмитість. У відомих наукових дослідженнях використовується кілька форм для опису функцій належності, найбільш часто це трикутна [17] і трапецевидна [18]. Іноді функції належності описуються кусочно-безперервними функціями [19, 20]. Найменш адекватною вважається трикутна, найбільш адекватною – гаусова (дзвоноподібна). Але одночасно

На виході каналу спостереження  $\tilde{\sigma}_r$  отримано розподіл впевненості у належності прояву властивості до обраних блоків визначеної змінної з назвами з  $X_i$ , що формалізує властивість у вигляді дискретної функції належності  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i'): X_i \rightarrow [0, 1]$ . Відповідно до цього критерію необхідно, щоб для будь якого прояву властивості функція  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i')$  була максимально чіткою, що підвищує чіткість визначення властивості.

Розмитість функції належності залежить від форми функції належності  $\mu_{\tilde{\sigma}_r}(v_i')$ . Для оцінки часткового критерію рівня чіткості функції належності використовується міра точності або міра специфічності по Ягеру у вигляді

трикутна форма є найбільш простою, а гаусова – найбільш складною в реалізації. Суперечливість критеріїв надає підстави стверджувати про наявність однієї чи кількох точок оптимальності.

З огляду на це і позначаючи  $w_s$  як важливості часткових критеріїв так, що  $\sum_{s=1,3} w_s = 1$ , значення узагальненого критерію оптимальності для кожного з наявних каналів спостереження розраховується як лінійна згортка у вигляді

$$J(\tilde{\sigma}_r) = \sum_{s=1,3} [w_s \cdot J_s(\tilde{\sigma}_r)]. \quad (7)$$

Тоді вибір найбільш оптимального каналу спостереження  $\tilde{\sigma}^*$  визначатиметься так:

$$\tilde{\sigma}^* = \arg \max_{r=1, K} J(\tilde{\sigma}_r), \quad (8)$$

де  $K$  – кількість каналів спостереження, що досліджується.

Варіанти побудови каналу спостереження і визначення оптимального каналу спостереження на основі висунутих критеріїв. Зважаючи на особливості

розрахунку критеріїв вибору (3-5), варіанти побудови каналу спостереження були сформовані за допомогою декартового добутку трьох форм функції належності з кількома варіантами критерію складності. Ураховуючи особливості задач воєнно-політичного аналізу, приймемо, що достатньо

розглянути три варіанти, які відповідають кількості блоків  $N_k = 3, 5, 7$ . Для кожного варіанта було розраховано значення критеріїв сепарабельності та розмитості. Розраховані значення наведені в Табл. 2.

Таблиця 2

Розраховані значення критеріїв сепарабельності і розмитості

	Трикутна форма		Трапецієвидна форма		Гаусова форма	
	$J_2(\tilde{\sigma}_r)$	$J_3(\tilde{\sigma}_r)$	$J_2(\tilde{\sigma}_r)$	$J_3(\tilde{\sigma}_r)$	$J_2(\tilde{\sigma}_r)$	$J_3(\tilde{\sigma}_r)$
$N_k = 3$	0,01 42	0,57 87	0,02 58	0,76 60	0,01 89	0,71 55
$N_k = 5$	0,05 90	0,60 10	0,09 11	0,78 65	0,06 87	0,69 90
$N_k = 7$	0,15 43	0,60 76	0,12 61	0,69 50	0,17 38	0,66 60

Для отримання узагальненого критерію оптимальності потрібно визначити важливості часткових критеріїв. На наш погляд, найбільшу важливість повинні мати критерій сепарабельності, оскільки він найбільш близький за змістом до головної властивості каналу спостереження – адекватності. Критерій розмитості повинні мати меншу важливість, але не набагато меншу за важливість критерію сепарабельності. Він також досить тісно пов'язаний з адекватністю каналу

спостереження. Критерій складності може мати найменшу важливість, оскільки це більш “технологічний” критерій, який впливає на трудомісткість побудови множини функцій належності і складність подальших розрахунків. З огляду на ці міркування, важливості критеріїв було визначено так: складність – 0.1, сепарабельність – 0.63, розмитість – 0.27.

У Табл. 3 наведено значення узагальненого критерію оптимальності, який розраховано за формулою (6).

Таблиця 3

Значення узагальненого критерію оптимальності

	Трикутна форма	Трапецієвидна форма	Гаусова форма
$N_k = 3$	0,2319	0,2898	0,2718
$N_k = 5$	0,2439	0,3142	0,2764
$N_k = 7$	0,2835	0,2893	0,3115

**Висновки.** Як випливає з Табл. 3, з погляду значень загального критерію оптимальності канали спостереження умовно можливо розділити на три групи. *Першу групу* найбільш придатних для використання каналів спостереження складають канали, які базуються на трапецієвидній функції належності при  $N_k = 5$  та на гаусовій функції належності при  $N_k = 7$ . Для цих каналів інтегральний критерій складає  $J(\tilde{\sigma}_r) \geq 0,31$ .

*Другу групу* каналів спостереження, які також досить ефективно використовувати у процесі формалізації геополітичних характеристик складають канали спостереження з трапецієвидною функцією належності при  $N_k = 3, 7$ , з гаусовою функцією належності при  $N_k = 3, 5$ , та з трикутною функцією належності при  $N_k = 7$ . *Третю групу* каналів

спостереження, які найменш ефективно використовувати надалі, складають канали спостереження з трикутною функцією належності при  $N_k = 3, 5$ .

Для переконання у стійкості оцінки та вибору каналів спостереження було зроблено кілька змін важливості часткових критеріїв. Навіть після зміни пріоритетності критеріїв сепарабельності та розмитості, це не призвело до суттєвої зміни найбільш оптимальних каналів спостереження. Зважаючи на це, можна вважати результати вибору стійкими у повній мірі, а запропоновані рекомендації обґрунтованими.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Saaty T. L., Kearns K. P., *Analytic Planning: The organization of System*, New York : Pergamon Press, 1991. 208 p.

2. Dubois D. The role of fuzzy sets in decision sciences: Old techniques and new directions, 2011. Available at: <[https://www.researchgate.net/profile/Elissa\\_Madi/post/Does\\_anyone\\_know\\_how\\_to\\_convert\\_pairwise\\_comparisons\\_into\\_Fuzzy\\_Triangular\\_Numbers\\_Various\\_authors\\_using\\_various\\_Triangular\\_Numbers\\_Why/attachment/59d63d40c49f478072e85e1/AS:273758269444097@1442280465941/download/2011-dubois-the+role+of+FS+in+decision+sciences-old+technique+and+new+directions.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Elissa_Madi/post/Does_anyone_know_how_to_convert_pairwise_comparisons_into_Fuzzy_Triangular_Numbers_Various_authors_using_various_Triangular_Numbers_Why/attachment/59d63d40c49f478072e85e1/AS:273758269444097@1442280465941/download/2011-dubois-the+role+of+FS+in+decision+sciences-old+technique+and+new+directions.pdf)>. (date accessed: 06 dec. 2020).
3. Sugeno M. Fuzzy Measure and Fuzzy Integral. *Transaction of the Society of Instrument and Control Engineers*. 1972. Vol. 8. P. 95–102.
4. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач / пер. с англ. Москва : Радио и связь, 1990. 544 с.
5. Ahmad Aljaafreh, *Student Member, IEEE* and Liang Dong, *Senior Member*. Cooperative Detection of Moving Targets in Wireless Sensor Network Based on Fuzzy Dynamic Weighted Majority Voting Decision Fusion. *IEEE* 978-1-4244-6452-4/10/\$26.00 ©2010 IEEE. p. 544-548
6. Silantsev A. B., Golubev A. V., Fernandu C. A., Olim J. F., Timoshenko A. V. Track Association in Radars with Additional Multi-Scanning Observation Channels. *Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. 2021.
7. Zadeh L.A. The Concept of linguistic variable and its applications to approximate reasoning. *Information Sciences*. 1975. DOI: [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90046-8).
8. Natalinova N. M., Galtsevaa O. V., Xiub N., Belana A. M. Qualitative and Quantitative Methods for Estimating the Library and Information Services. DOI: <http://dx.doi.org/10.15405/epsbs.2017.01.65>.
9. Schmalzel J. L., Johnson J. F. Pattern recognition based on fuzzy logic. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*. 1993. DOI: 10.1109/IMTC.1993.382557.
10. Natalinova N. M., Ilina N. L., Rozhkova O. V., Moldovanova E. A. Filtering for Stochastic Systems in the Case of Continuous Observation Channels with Memory of Arbitrary Multiplicity and Anomalous Noise. 2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 978-1-4673-8383-7/16/\$31.00 ©2016 IEEE.
11. Босов А. В., Панков А. Р. Условно-минимаксная фильтрация процесса в системе с переключающимися каналами наблюдения. *Автоматика и телемеханика* 1995. Вып. 6. С. 87–97.
12. M.L. Kleptsyna, A.Le Breton and M. Viot. Filtering with exponential criteria via linear observation channels. *Global and Stochastic Analysis*. January-June, 2014. Vol. 1, No. 1. P. 57–77.
13. Serdar y'uksel and tam'as linder. Optimization and Convergence of Observation Channels in Stochastic Control. arXiv:1009.3824v2 [math.OC] 7 Feb 2012
14. Joanne Taery Kim and Sehoon Ha. Observation Space Matters: Benchmark and Optimization Algorithm. arXiv:2011.00756v1 [cs.RO] 2 Nov 2020.
15. Андриевский Б. Р., Фрадков А. Л. Управление и наблюдение через каналы связи с ограниченной пропускной способностью. С. 103–114.
16. Бочарников В. П. Fuzzy-технология: модальность и принятие решений в маркетинговых коммуникациях. Санкт-Петербург : Наука РАН, 2002. 221 с.
17. Bozanic D., Tešić D., Milić A. Multicriteria decision making model with Z-numbers based on FUCOM and MABAC model. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. Vol. 3 (2). 2020. P. 19–36. Available at: <<https://www.dmame.rabek.org/index.php/dmame/article/view/72/53>>. (date accessed: 22 dec. 2020).
18. Chen S-M. Evaluating weapon systems using fuzzy arithmetic operations. *Fuzzy Sets and System*. Vol. 77. 1996. P. 265–276. Available at: <<https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/1453/1/A1996TU25700002.pdf>>. (date accessed: 06 dec. 2020).
19. Maria Letizia Guerra, Luciano Stefanini. Approximate fuzzy arithmetic operations using monotonic interpolations. *Fuzzy Sets and Systems*. Vol. 150. Issue 1. 2005. P. 5–33. DOI: 10.1016/j.fss.2004.06.007.
20. Kosheleva O., Cabrera S. D., Gibson Glenn A., Koshelev M. Fast implementations of fuzzy arithmetic operations using fast Fourier transform (FFT). *Fuzzy Sets and Systems*. Vol. 91. Issue 2. 1997. P. 269–277. DOI: 10.1016/S0165-0114(97)00147-4.

Стаття надійшла до редакційної колегії 16.09.2021

## Determining the optimal channel for observing the quantitative characteristics of states

### Annotation

Solving scientific and scientific-analytical problems in the field of military-political analysis using numerical methods almost always requires obtaining estimates of states on the characteristics (properties) of two types: quantitative and qualitative. Examples of quantitative characteristics are: the area of the state, the length of the coastline, population, size of gross domestic product. Examples of qualitative characteristics are: the type of political system, the presence of mountainous areas, access to the sea and so on.



For further data processing, these characteristics must be presented in the same way, in a single basis. Then you can use different methods of composition, such as arithmetic convolution, methods of fuzzy set theory, fuzzy-integral calculus and others.

*The purpose of the article* is to develop an optimal (in terms of selected criteria) channel for monitoring the quantitative characteristics of states, which will obtain the value of the variable and use it in scientific and scientific-analytical problems of military-political analysis. To achieve this goal the following subtasks are solved:

the type of observation channel is chosen, the most rational in terms of features of scientific and scientific-analytical tasks of military-political analysis;

the criteria for evaluating the observation channel are selected and an algorithm for their calculation is developed, based on the requirement to ensure adequacy;

several variants of construction of the observation channel were formed and the optimal channel was chosen on the basis of the put forward criteria.

Studies were conducted with the following restrictions:

the set of observation channels that have the same and symmetrical form of functions of blocks of a certain variable on the whole defined universe for a variable was investigated;

the coverage of the universe of variables by the functions of the blocks was assumed to be uniform due to the fact that individual intervals from the entire range of the variable are equally important in terms of influencing the evaluation of the property.

**Keywords:** observation channel; military-political analysis; affiliation function; separability; blur.