

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-3\(41\)-169-175](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-3(41)-169-175)

УДК 681.518.3:528

Микола Олегович Бялий¹, Павло Анатолійович Савков²¹ад'юнкт штатний науково-організаційного відділу
Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)E-mail: nikolai.bialiy@gmail.com. ORCID: <https://orcid=0009-0006-9487-1502>²доцент кафедри БВП
Київський національний університет імені Тараса Шевченка (Київ, Україна)
E-mail: savkovpa@meta.ua. ORCID: <https://orcid=0000-0002-0197-0610>

ОБРАЗНО-ЗНАКОВА МОДЕЛЬ КАРТИ ЯК «ІНФОРМАЦІЙНОГО КАНАЛУ»

У теорії створення геоінформаційних систем військового призначення (ГІС ВП) провідна роль належить картографічній інформації, мірі її вимірювання та інформаційним характеристикам цієї ГІС. Для їх визначення запропоновано розглянути образно-знакову модель карти у ролі «інформаційного каналу», який позначає систему чи середовище реєстрації, обробки, зберігання і передачі даних про місцевість від джерела до приймача. Ці складові необхідні для ефективного збору, аналізу і відображення просторово пов'язаних даних для системи прийняття рішень (СППР) особливо в процесі збору розвідувальної інформації і оперативного планування.

ГІС ВП ґрунтується на картографічній інформації, яка включає візуальне і просторове подання об'єктів реального світу на цифровій карті, передбачає наявність даних топографії, інфраструктури, населення, навколишнє середовище тощо. Це забезпечує моделювання реальності, надаючи користувачам можливість орієнтуватись у складних просторових відношеннях, візуалізувати складні сценарії, надавати аналітичні дані, сприяти більш ефективному плануванню і виконанню операцій, що значною мірою сприяє успіху будь-якої військової місії.

Ключові слова: карта; інформаційний канал; топографо-геодезичне забезпечення; геоінформаційні системи військового призначення (ГІС ВП).

Бібл.: 7.

Актуальність теми дослідження. Підготовка та успішне ведення бойових дій неможливі без актуальної та достовірної інформації про місцевість. Для гарантованої перемоги над противником необхідно досягти так званої інформаційної переваги над противником. Це дозволяє випередити його в оцінці швидкозмінної ситуації на полі бою, ухваленні правильного та найбільш ефективного рішення та плануванні ходу операції (військових дій).

Інформаційна перевага досягається передусім за рахунок обробки цифрової інформації про місцевість в інтеграції з різноманітними даними про противника та його війська. У досягненні цієї переваги важливе місце належить топографо-геодезичному забезпеченню, яке включає аерокосмічну, оптико-електронну розвідку, супутниковий зв'язок, цифрові комп'ютерні технології та методи сучасної геодезії, картографії та фотограмметрії.

Для оперативного управління динамічними системами, якими є сучасний бій, потрібні достовірні та актуальні дані про територію бойових дій, про процеси, що відбуваються на них, а також передові технології накопичення, обробки й подання інформації.

З урахуванням наведеного, питання збору й обробки інформації про просторово розподілені об'єкти на територіях бойових дій, де щільність інформації достатньо висока, є дуже актуальним завданням. Застаріла методика надання інформації особі, що приймає рішення (ОПР), у вигляді звітів і паперових карт втратила свою актуальність. Для оперативності управління об'єктами на території бойових дій необхідно використовувати геоінформаційні системи військового призначення (ГІС ВП). Сучасні ГІС ВП з їх широким спектром можливостей дозволяють наочно відобразити інформацію про конкретні об'єкти, процеси та явища на території бойових дій в їх сукупності, виявляти взаємозв'язки і просторові відношення та їх інтеграцію в єдиний інформаційний масив.

Мета дослідження. Цифрова інформація для ГІС ВП може бути представлена у вигляді електронної топографічної, географічної, авіаційної карт, плану населених пунктів, матриці висот, матриці властивостей місцевості тощо. Проведений авторами аналіз завдань, що вирішуються топографічними службами Збройних Сил України під час бойових дій, засвідчив, що має місце певне відставання в питаннях картографічного наповнення

ГІС ВП порівняно з арміями США та НАТО. Тому актуальними задачами виступають дослідження картографічних об'єктів ГІС ВП, зменшення похибок їх обробки та передачі інформаційними каналами та аналіз образно-знакової моделі карти як інформаційного каналу, підвищення її інформативності. Максимальної інформативності карти можна досягти, коли користувач «знає все» про картографічні об'єкти і при цьому відсутні втрати інформації при її обробці, передачі та транспортуванні інформаційними каналами.

Основними завданнями дослідження є:

- огляд літературних джерел та наукових публікацій стосовно наповнення даними ГІС ВП;
- аналіз джерел похибок під час створення картографічних творів у ГІС ВП, оцінка їхніх технічних можливостей для обробки та аналізу цієї інформації;
- аналіз шляхів підвищення надійності обробки й передачі інформації, зокрема картографічної.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичні засади інформаційного забезпечення національної безпеки України викладено в працях учених О. Бодрука, Ю. Бута, О. Власюка, В. Горбуліна, А. Качинського, В. Крисаченка, О. Маначинського, М. Ожевана, Б. Парахонського, С. Пирожкова, Г. Сашука, Т. Стародуб, В. Телелима, В. Толубко, В. Циганова, О. Шевченка та ін.

Розвитку математичних методів дослідження складних систем присвячені праці вчених В. М. Глушкова, М. З. Згуровського, О. Г. Івахненка, О. А. Самарського. Значний внесок у розвиток технологій імітаційного моделювання внесли вчені Н. П. Бусленко, В. Г. Зайцев, Дж. Кельтон, В. В. Литвинов, А. Лоу, А. Прицкер, А. А. Тимченко, В. М. Томашевський, Р. Шеннон, Т. Дж. Шрайбер та ін.

Проблема зовнішніх інформаційних впливів та інформаційних аспектів забезпечення національної безпеки держави досліджувалась у працях В. Бондаренка, Дж. Брауна, О. Вусатюка, Г. Джоветта, Д. Дубова, В. Зацерковного, С. Кара-Мурзи, О. Литвиненка, А. Манойла, С. Недбаєвського, О. Трофимчука, М. Ожевана, В. Петрика, Г. Почепцова. Серед закордонних авторів слід звернути увагу на дослідження З. Бжезінського, Д. Белла, М. Кастельса, Д. Дарендорфа, К. Дойча, Г. Джоветта, Дж. Ная та інших. Концептуальні проблеми війни та миру розглядаються в працях Р. Арона, К. Гаджієва, К. Клаузевіца, Б. Ліддел-Гарта, Н. Макіавеллі, Х. Мольтке, К. Поппера, П. Прудона, Є. Рибкіна, С. Тюшкевича, М. Цюрупи, А. Швейцера та ін. Із суто методологічного погляду проблему мережецентричних війн досліджували А. А. Амбарцумян, Ю. С. Затуливетер, А. О. Зінченко, В. І. Слюсар, К. Cebrowski, John J. Garstka, D. S. Alberts, Дж. Арквілла та інші.

Визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба зауважити, що питанням взаємодії образно-знакової моделі карти як інформаційного каналу, який позначає систему чи середовище реєстрації, обробки, зберігання і передачі даних про місцевість від джерела (земна поверхня) до приймача, наявності похибок, що виникають при цьому, не приділялось достатньої уваги.

Метою статті є визначення кількості картографічної інформації, яка може надходити, оброблятися та передаватися користувачеві ГІС ВП з оцінкою ентропії при послідовній подачі повідомлень про картографічні об'єкти при рівномірному виборі об'єктів. Це дослідження сприятиме кращому розумінню можливостей та потенційного застосування військових ГІС для надання критичної інформації для військових цілей.

Виклад основного матеріалу. У теорії створення геоінформаційних систем військового призначення (ГІС ВП) провідна роль належить картографічній інформації, міра її вимірювання та інформаційні характеристики цієї ГІС. Для їх визначення пропонується розглянути образно-знакову модель карти у ролі «інформаційного каналу», який позначає систему чи середовище реєстрації, обробки, зберігання і передачі даних про місцевість

від джерела до приймача. Ці складові необхідні для ефективного збору, аналізу і відображення просторово пов'язаних даних для системи прийняття рішень (СППР) особливо в процесі збору розвідувальної інформації та оперативного планування [1].

Як свідчить досвід військових операцій у Чечні, Афганістані, Іраку, Ізраїлі, основними критеріями успішного ведення бойових дій передусім слугували:

- своєчасне та повне забезпечення органів управління топографічними та спеціальними картами;
- завчасне виготовлення топографічних планів населених пунктів;
- підготовка вихідних астрономо-геодезичних даних про позиції ракетних військ і артилерії та передачу їх відповідним органам управління;
- забезпечення штабу та військ додатковою інформацією про місцевість у вигляді спеціальних фотодокументів місцевості, іншими довідковими матеріалами, виготовленими в процесі безпосередньої підготовки до бою та під час ведення бою;
- забезпечення автоматизованих систем управління військами (АСУВ), розвідки та наведення за допомогою цифрових карт, цифрових моделей місцевості;
- організація та своєчасне доведення до військ результатів топографічної розвідки місцевості та противника [2].

Розглянемо образно-знакову модель карти як «інформаційний канал», який позначає систему чи середовище реєстрації, обробки, зберігання і передачі даних про місцевість від джерела (земна поверхня) до приймача.

Згідно з методикою [3; 4; 5], крім картографічної інформації, ГІС вміщує ще й різні джерела похибок. Під час застосування ймовірного варіанта всі повідомлення про картографічні об'єкти, похибки їх обробки і передачі та іншу інформацію оцінюються як випадкові «об'єкти», що мають певні «інформаційні» характеристики.

Щоб визначити ці характеристики та їхні кількісні параметри, перейдемо від розгляду випадкового об'єкта до випадкового дослідження над ним. Як варіант випадкового дослідження можна взяти результати пошуку чи вибору картографічного об'єкта на топографічній карті.

Припустимо, що ми маємо справу з аналізом станів $a_1, a_2, \dots, a_k$, які будуть прийняті як витоки дослідження A , а значення $P_1, P_2, \dots, P_k$ приймаємо як ймовірності цих витоків. Такий підхід дозволяє легко перейти до кількісної міри невизначеності випадкового дослідження, запропонованій в [7].

Ентропія $H(P_1, P_2, \dots, P_k) = -\sum P_i \cdot \log p_i$ приймається як міра невизначеності випадкового дослідження і позначається як $H(A)$.

Під час використання у ГІС ВП карти найчастіше має місце не один дослід, а декілька, тому необхідно розглядати використання карти як складний дослід. Наприклад, одночасно можуть бути задіяні дослідження A і B .

Зазначивши кінцевий результат складного дослідження як (a_i, b_i) , а його ймовірність як $P(a_i, b_i) = r_{ij}$, визначимо ентропію складного дослідження AB у вигляді:

$$H(AB) = -\sum \sum r_{ij} \log r_{ij}.$$

У загальному випадку ймовірність має вигляд:

$$P(a_i b_i) = P(a_i)P(b_i|a_i) = P(b_i) \cdot (a_i|b_i)$$

Якщо a_i є витік дослідження A , то ймовірність витоків $b_j (j = 1, 2, \dots, l)$ дослідження B у цьому випадку визначиться умовними ймовірностями $P(b_j|a_i)$.

Тому функція $H(B|a_i) = -\sum P(b_j|a_i) \log P(b_j|a_i)$ буде умовною ентропією дослідження B при появі витoku a_i .

Математичне очікування значення $H(B|a_i)$ при усіх витоках a_i має назву середньо-умовної ентропії дослідів B при виконанні дослідів A і позначається

$$H_A(B) = \sum_p (a_i) H(B|a_i).$$

Різниця $H(B) - H_A(B)$ характеризує середню зміну невизначеності дослідів B після виконання дослідів A , тому її визначають як середнє значення інформації про дослід B , отриманої як результат здійснення дослідів:

$$I(A, B) = H(B) - H_A(B).$$

Очевидно, що

$$I(A, A) = H(A) = I(A),$$

тобто ентропія дослідів є власною інформацією дослідів A про самого себе.

Припустимо, що є система переробки й передачі картографічної інформації, у якій на вхід надходить a_n – вхідне повідомлення n про картографічний об'єкт, β_n – вихідне повідомлення, створене системою, коли на вхід поступає a_n і система обробки перебуває у стані γ_n .

Тоді визначимо ГІС ВП як ймовірнісну модель у наступному вигляді:

$$\beta_n = f(a_n, \gamma_n); \quad \gamma_{n+1} = q(a_n, \gamma_n),$$

де γ_n – стан системи обробки до моменту залучення n -го вхідного повідомлення.

Таке визначення дозволяє в загальному вигляді розглядати земну поверхню як ймовірнісне джерело, яке створює послідовні повідомлення про картографічні об'єкти з обмеженого набору об'єктів, а ГІС ВП як систему обробки послідовностей повідомлень, що надходять на вхід і передачі їх на виході користувачеві.

Висновки про просторові характеристики ГІС ВП почнемо з основної з них – кількості картографічної інформації, яка може надходити, оброблятися і передаватися користувачеві ГІС ВП. З цією метою скористуємося визначенням інформації і ГІС. Очевидно, що ентропія вхідних повідомлень про картографічні об'єкти $H(a)$ в результаті обробки картографічної інформації перейде в ентропію вихідних повідомлень $H(\beta)$. Тоді інформативну обробку в ГІС ВП можна визначити як кількість інформації, яка дорівнює:

$$I_{\text{обр}} = I(f(a, \beta), \beta).$$

Функція $I_{\text{обр}}$ характеризується значенням інформації про картографічні об'єкти місцевості в ГІС ВП за результатами обробки вихідних даних. У випадку, коли бази географічних зберігають «усе» про картографічні об'єкти і $I(a) = I(\beta)$, інформативність обробки в ГІС буде максимальною.

Справедлива нерівність $I(a) = I(\beta) \quad I(a) \geq I(\beta)$, тобто коли в результаті обробки інформація не збільшується.

Загалом під час розрахунку інформативності обробки картографічної інформації в ГІС ВП передусім необхідно врахувати кількість картографічних об'єктів, повідомлення про які занесені до бази даних (БД), кількість збережених числових і атрибутивних показників та характеристик об'єктів, а також показники частоти звернення до цих даних (вірогідність вибору).

Далі, якщо визначити випадкове значення η як повідомлення, залучені користувачем, то можна вести мову й про ентропію користувача $H(\eta)$. У результаті отримаємо кількість інформації, яку надає ГІС:

$$I_{\text{ГІС}} = \min(I(\eta), I(\beta)).$$

Інформативність – одна з найважливіших характеристик ГІС. Вона максимальна, коли користувач «знає все» про картографічні об'єкти й відсутні втрати інформації під час її обробки і транспортування.

Серед інших характеристик ГІС треба визначити ще одну, не менш важливу характеристику – пропускну спроможність обробки й передачі картографічної інформації користувачем.

Якщо подати на ГІС випадкову величину L , то на виході, як результат обробки і випадкових помилок, отримаємо величину β , а користувач отримає випадкову величину. У такий спосіб можна розрахувати кількість інформації $I(a, \eta)$ користувача відносно входу ГІС. При варіюванні випадкової величини L на вході системи кількість інформації $I(a, \beta)$ на виході теж може змінюватися. Тоді значення $C_{max} = (I(a, \beta), I(a, \eta))$ можна вважати пропускну здатністю ГІС ВП.

C_{max} характеризує максимальну кількість інформації, яка може бути опрацьована й передана ГІС за одиницю часу, тобто визначає швидкість, з якою ведеться надійне транспортування інформації. Цю характеристику можна поширити й на обробку й передачу картографічної інформації.

Швидкість обробки та передачі інформації визначається формулою:

$$R = \frac{k}{t},$$

де k – кількість одиниць картографічної інформації;

t – час, що витрачається на обробку або передачу k одиниць інформації.

У праці [7] було доведено, що можна здійснити якісну й надійну обробку/передачу інформації зі швидкістю, яка не перевищує пропускну здатність каналу. З іншого боку, будь-який спосіб обробки й передачі інформації зі швидкістю, яка перевищує пропускну здатність, призводить до збільшення ймовірності похибок, яка характеризується показником надійності, під яким розуміють ймовірність появи помилки.

Отже, ще однією із важливих характеристик обробки та передачі картографічної інформації в ГІС ВП є її надійність, що визначається як ймовірність появи помилки (картографічне повідомлення β на виході та η – повідомлення, отримане користувачем, різняться від повідомлення L на вході). Ймовірність похибки назовемо $P(e)$.

$$P(e) = L(f(I(a, \eta)).$$

У загальному випадку помилки в системі зменшують надійну обробку й передачу інформації та гальмують її вихід.

Для підвищення надійності обробки й передачі інформації, зокрема картографічної, важливу роль відіграє спосіб її кодування.

Аналіз об'єктів місцевості, що здійснюється сучасними ГІС, за даними [8] свідчить, що загальна кількість класифікаційних ознак картографічних об'єктів не перевищує значення 900 (760 безпосередньо ознаки об'єктів і 140 підписи до цих об'єктів). У цьому випадку джерела картографічної інформації, що забезпечують послідовну подачу повідомлень про картографічні об'єкти при рівноймовірному виборі об'єктів, мають ентропію, яка дорівнює:

$$H_3 = - \sum \frac{1}{900} \log \left(\frac{1}{900} \right) = \log 900 = 2,95 \text{ знак/об'єкт}$$

Таким чином, для кодування картографічних об'єктів як повідомлень достатньо в середньому три десятинні знаки, звідси, стосовно підсистеми ГІС ВП, об'єм бази даних рівня бригади складає щонайменше 500 Мб (це 20-25 тис. користувачів). Об'єм семантичної інформації на 1 користувача ~ 2 Кб.

Висновки. Образно-знакове кодування є важливим аспектом підвищення надійності та передачі картографічної інформації. Для ГІС ВП актуальними завданнями сьогодення є спрощення та стандартизація картографічних даних, забезпечення можливості ефективного пошуку, аналізу та візуалізації даних у ГІС та зниження ризику помилок і забезпечення сумісності даних між різними програмними засобами та системами. При цьому можуть використовуватись алфавітно-цифрові коди для позначення об'єктів, які легко розпізнаються за кодом, класифікаційні коди, що відображають класифікацію. Можуть використовуватись ієрархічні моделі, які мають кілька рівнів класифікації, сіткові моделі, які кодуються за допомогою координатної сітки або іншої системи координат. Можуть використовуватись міжнародні стандарти ISO 19115, INSPIRE Data Specifications, Національні стандарти ДСТУ або інші нормативні документи, що регулюють кодування картографічної інформації.

Список використаних джерел

1. Бялий, М. (2024). Оцінка інформативності геоінформаційних систем військового призначення. *Technical Sciences and Technologies*, (3(37)), 132-142. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-132-142](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-132-142).
2. Evglevsky, I.V., & Morozov, N.N. 2005. Опыт TGO boyevykh deystviy voysk v 21 veke. *Nauka i voyennaya bezopasnost*, 2, pp.39-43.
3. Konon, N. I. (2001). On the information characteristics of geographic information systems. *Geodesy and Cartography*, (4), 43-46.
4. Konon, N. I. (2001). Concept of a mathematical model of geographic information systems. *Geodesy and Cartography*, (6), 48-54.
5. Konon, N. I. (2000). Introduction to the issues of information support for geographic information systems. Moscow: Nedra.
6. Shannon, C. (1963). *Works on information theory and cybernetics*. Moscow: Publishing House of Foreign Literature.
7. Кравців, С., Іванов, Є., & Войтків, П. (2025). *Картографія: теорія і практика*. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка.

References

1. Bilayi, M. (2024). Otsinka informatyvnosti heoinformatsiinykh system viiskovoho pryznachennia [Assessment of the informativeness of military geoinformation systems.] *Tekhnichni nauky i tekhnolohii - Technical Sciences and Technologies*, (3(37)), 132-142. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3\(37\)-132-142](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-3(37)-132-142).
2. Evglevsky, I.V., & Morozov, N.N. 2005. Opyt TGO boyevykh deystviy voysk v 21 veke. *Nauka i voyennaya bezopasnost*, 2, pp.39-43.
3. Konon, N. I. (2001). On the information characteristics of geographic information systems. *Geodesy and Cartography*, (4), 43-46.
4. Konon, N. I. (2001). Concept of a mathematical model of geographic information systems. *Geodesy and Cartography*, (6), 48-54.
5. Konon, N. I. (2000). Introduction to the issues of information support for geographic information systems. Moscow: Nedra.
6. Shannon, C. (1963). *Works on information theory and cybernetics*. Moscow: Publishing House of Foreign Literature.
7. Kravtsiv, S., Ivanov, Ye., & Voitkiv, P. (2025). Kartohrafiia: teoriia i praktyka. [Cartography: theory and practice.], Lviv: Lvivskiy natsionalnyi universytet imeni Ivana Franka – Lviv: Ivan Franko National University of Lviv.

Отримано 11.09.2025

Mykola Bialyi¹, Pavlo Savkov²¹Adjunct, Scientific and Organizational Department

Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kyiv, Ukraine)

E-mail: nikolai.bialiy@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-9487-1502>²Associate Professor

Department of BVP Taras Shevchenko National University of Kyiv (Kyiv, Ukraine)

E-mail: savkovpa@meta.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0197-0610>**FIGURATIVE-SIGN MODEL OF THE MAP AS AN “INFORMATION CHANNEL”**

In the theory of developing military geographic information systems (MGIS), a leading role belongs to cartographic information, its measurement, and the information characteristics of these systems. To define these aspects, it is proposed to consider the figurative-sign model of the map as an “information channel”, which represents a system or environment for registering, processing, storing, and transmitting terrain data from the source to the receiver. These components are essential for the effective collection, analysis, and visualization of spatially related data within a decision support system (DSS), especially in the processes of intelligence gathering and operational planning.

MGIS is based on cartographic information, which includes the visual and spatial representation of real-world objects on a digital map. It presupposes the availability of data on topography, infrastructure, population, and the environment, thereby enabling the modeling of reality. This provides users with the ability to navigate complex spatial relationships, visualize sophisticated scenarios, deliver analytical data, and support more effective planning and execution of operations—factors that significantly contribute to the success of any military mission.

Keywords: map; information channel; topographic and geodetic support; military geographic information systems (MGIS).

References: 7.