

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.13.2.134-144>

УДК 355.141-514.1

**В.В. Дегтяренко****П.П. Ванкевич****Є.Г. Іваник**, к.ф.-м.н., с.н.с.**П.І. Ванкевич**, д.т.н., с.н.с.**О.О. Музика****І.М. Ільків**, к.т.н., доцент*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна*

## РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ НА ОСНОВІ ТЕОРЕТИКО-ІНФОРМАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ДО ЗАДАЧІ ПОШУКУ

*Розпізнавання цілей при веденні бойових дій – беззаперечна умова взаємодії військ. Тому актуальною проблемою є розроблення вимог і постановка задач по забезпеченню взаємодіючого розпізнавання об'єктів в зоні ведення бойових дій. Основою цих вимог є пропозиції з покращення ознак цілей: «свій», «чужий» і «нейтральний». Адекватне бойове розпізнавання забезпечує підвищення ефективності виконання поставлених задач в процесі ведення бойових дій, зменшення втрат, нанесених діями противника та ненавмисного використання зброї шляхом помилкового ведення вогню по своїх військах. Особливої актуальності ця проблема набуває під час військових дій в рамках обмеженого простору, коли втрачено або взагалі не встановлено інформаційний контакт між взаємодіючими бойовими підрозділами. Загальною причиною нанесення бойових втрат своїм підрозділам є відсутність ситуаційної обізнаності. В статті дано теоретичне підґрунтя задачі розпізнавання належності сил на полі бою або в районі проведення бойових операцій із залученням елементів комбінаторики, математичної статистики і теорії інформації. Подано виклад теоретико-експериментальної схеми про передачу інформації по каналу зв'язку з можливістю багатоваріантного доступу. Сформульовано теоретико-інформаційну проблему, де йдеться про можливість передачі одного з деякої сукупності повідомлень при відсутності перешкод, причому повідомлення можуть бути поданими в довільній формі. Водночас по інформаційному каналу можуть передаватись лише літери певного алфавіту, в даному випадку – алфавіту двійкового коду, тобто нуль або одиниця. В підсумку сформульовано комплекс прикладних задач на основі представлених в статті теоретичних напрацювань, а також процедури та рекомендації, необхідні для запуску процесу розпізнавання.*

**Ключові слова:** бойові дії, ідентифікація, ефективність ураження цілей, теорія інтелектуальних систем, задача пошуку, інформація, алфавітний код, префіксний код, послідовна стратегія пошуку, асимптотика ймовірності похибки, апріорний розподіл ймовірностей на множині повідомлень, алгоритм пошуку, канал зв'язку з множинним доступом, теоретико-інформаційна модель, траса спостереження.

### Постановка проблеми

Враховуючи значний відхід форм і методів ведення бойових дій від стереотипів минулих років, постає гостра потреба вживати низку організаційно-технічних заходів, спрямованих на своєчасну ідентифікацію, на фоні масового скупчення діючих у бойовому просторі живої сили та техніки, своїх підрозділів, безпомилково виокремити їх від протидіючих сил противника, тим самим максимально виключити вірогідність потрапляння під так званий «Friendly fire» своїх вогневих засобів; «Friendly fire» (дружній вогонь) – це негативна ситуація, коли війська несуть втрати від ударів своїх або союзницьких сил внаслідок об'єктивних та суб'єктивних причин. Вірогідність потрапити під такий вогонь дуже висока, якщо у бойових операціях з обох протидіючих сторін задіяна велика кількість особового складу та військової техніки. Важливість пом'якшення випадків дружнього вогню ніколи не була такою важливою як в даний час на міжнародній арені, коли зростає роль коаліційних операцій. Стратегічне і оперативне значення таких подій спонукають всі бойові роди військ висувати на передній план нанесення втрат своїм силам, відповідно до чого постає вагома причина з пошуку рішень не тільки з метою зниження випадків помилкового ведення вогню своїми силами, але й мінімізація дружнього вогню повсюдно.

Особливо це актуально під час дій на обмеженому просторі, коли втрачений або взагалі не встановлений інформаційний контакт. Втрати від такого вогню завжди супроводжували і будуть супроводжувати військові конфлікти, враховуючи те, що останнім часом у бойових діях набувають широкого застосування об'єднані сили, зокрема під час проведення операції Об'єднаних сил (ООС) на Луганському та Донецькому напрямках. В умовах швидкоплинності вогневих контактів з противником та швидкої зміни обстановки, вірогідність організаційного взаємного непорозуміння завжди залишається досить високою.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Завдання розпізнання належності сил на полі бою або в районі операцій вирішується поєднанням процедур контролю, ситуативної розвідки, застосуванням технічних засобів і проведенням ефективної підготовки [1–7]. Оскільки це завдання ускладнюється при збільшенні відстані, складності рельєфу та зниженні видимості, основним засобом запобігання помилковій ідентифікації та ураження своїх бойових сил, особливо на рівні військових частин і вище, є використання ефективних заходів командування та управління. Для прикладу, аналіз бойових дій в ході проведення операції «Буря в пустелі» надав можливість оцінити ефективність застосування окремих зразків озброєння та військової техніки у зоні Перської затоки [8, 9]. У бойових зіткненнях (за даними інформаційної служби заступника начальника штабу СВ США з оперативних питань) було уражено біля 20 БМП М2А3 «Bradley» та 12 отримали різний ступінь пошкодження. З переліченої кількості вогнем своїх вогневих засобів було уражено 17 і пошкоджено 3 одиниці техніки. З дев'яти знищених танків М1А2 «Abrams» сім було піддано обстрілу артилерійськими підрозділами своїх сил.

Головна причина помилкового ведення вогню по своїх військах полягала в нездатності екіпажів ідентифікувати цілі на значних відстанях [8–10]. Навідники були змушені затримувати момент відкриття вогню, чекаючи поки бойові машини не зближаться з потенційною ціллю на відстань, що дозволяє чітко бачити її обриси. Проблемою стала неможливість ідентифікації цілей за допомогою оптичних систем. Тепловізорні приціли на дальності 4000 м та більше на екранах мали зображення у вигляді «гарячих плям». Ідентифікація цілі була можлива лише на відстані 1500–2000 м у ясну погоду, або 500–600 м в умовах обмеженої видимості.

### Постановка задачі та напрями її розв'язування

**Мета роботи** полягає у визначенні шляхів підвищення ефективності ураження цілей противника та забезпечення особового складу своїх підрозділів від ненавмисного нанесення шкоди помилковим відкриттям вогню з використанням положень теорії інтелектуальних систем до задач розпізнавання образів при ідентифікації «свій-чужий» живої сили та різномірних військово-технічних систем озброєння і військової техніки.

Задача розпізнавання об'єктів на полі бою є однією з фундаментальних проблем теорії інтелектуальних систем. З іншого боку, задача розпізнавання об'єктів на полі бою має велике значення для кінцевого успіху проведення військової операції. Оскільки практичні аспекти стосуються різних військово-технічних систем озброєння та військової техніки, то потрібно чітко розуміти і застосовувати теорію розпізнавання образів. Засвоєння базових понять теорії розпізнавання образів дає можливість в подальшому формулювати відповідні науково-практичні задачі із застосуванням до військової тематики, створювати нові моделі систем розпізнавання та ефективно застосовувати розроблені теорією методи до розв'язування практичних задач військового спрямування.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Теорія пошуку – достатньо новий напрям математики на стику комбінаторики, математичної статистики і теорії інформації, яка передбачає розроблення методів побудови і оцінки алгоритмів пошуку, що дозволяють підвищити ефективність експериментальних випробувань. За наявності різноманітності в постановці і шляхах вирішення задач пошуку, чітко прослідковується комплекс загальних методів, центральний з яких заснований на теоретико-інформаційному підході, який полягає в тому, щоб ввести відповідну інформаційну кількість і оцінювати зверху приріст інформації в середньому за один експеримент або такт обчислень. Якщо, на додаток, вдається побудувати процедуру, при якій середній приріст інформації в точності або асимптотично співпадає з попередньою верхньою оцінкою, то задачу можна вважати розв'язаною. За допомогою введених понять і апарата дослідники прагнуть до виявлення найзагальнішого і найсуттєвішого в різних аспектах проблеми пошуку [11].

Подамо схему (рис. 1), що ілюструє постановку задачі пошуку (планування експерименту).

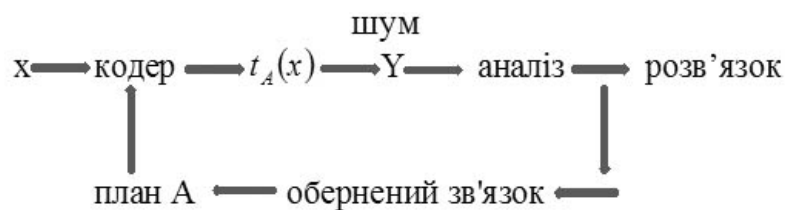


Рис. 1. Схема задачі пошуку

На схемі  $x$  – це предмет пошуку, що спільно з планом експерименту визначає вимірювану величину  $t_A(x)$  – відгук, причому він, в загальному, приходить до статистика (дослідника) у викривленому вигляді  $Y$ .

Обернений зв'язок є в наявності, якщо планування послідовне. У класичній статистиці мають справу лише з блоком «аналіз». Блоки «кодер» і «аналіз» в теорії інформації розділені в просторі; в нашому випадку вони обидва знаходяться під контролем одного статистика (дослідника). З іншого боку, в інформаційних задачах повідомлення вважається відомим передавачу, а в нашому випадку воно невідоме, і, нарешті, наш вплив на кодування – лише дотичний, через план експерименту.

Дамо виклад теоретико-експериментальної схеми про передачу інформації по каналу зв'язку з множинним доступом (КМД). Нехай  $s$  станцій синхронно і незалежно одна від одної передають закодовані ними в двійковій (для визначеності) послідовності повідомлень, число яких для  $i$ -го передавача є  $M_i$ . На вхід каналу в  $j$ -й момент поступає послідовність  $\mathbf{x}_j = (x_{1j}, \dots, x_{sj})$  двійкових символів, а на виході каналу внаслідок випадкових викривлень виникає відоме дискретне розпилення  $P(z_j | \mathbf{x}_j)$ , причому випадкові величини  $z_j$  в різні моменти часу незалежні. Нехай  $N$  є загальна довжина кодових слів, а  $\{R_i = \log M_i / N, i = 1, \dots, s\}$  – набір швидкостей кодів  $X_i$ . Декодер є відображення  $d$  множини послідовностей  $\mathbf{z} = (z_1, \dots, z_N)$  в сукупність  $M_1 \times \dots \times M_s$   $s$ -наборів повідомлень. Подію (хоча б одна з компонент декодованого  $s$ -набору  $\mathbf{d} = (d_1, \dots, d_s)$  не співпадає з переданою  $(\lambda_1, \dots, \lambda_s)$ ) назовемо помилкою декодера. Через  $P(\mathbf{X}, \mathbf{d}, \lambda)$  позначимо ймовірність цієї події; тут  $\mathbf{X} = (X_1, \dots, X_s)$ . Середня по рівномірному апріорному розподілу  $Q$  на  $M_1 \times \dots \times M_s$  помилка є  $E_Q P(\mathbf{X}, \mathbf{d}, \lambda)$ . Нехай

$$P_M(\mathbf{R}) = \{P(\mathbf{X}, \mathbf{d}, Q) : R(\mathbf{X}) \leq \mathbf{R}\}. \quad (1)$$

Назвемо  $s$ -набір швидкостей асимптотично досяжним, якщо

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P_N(\mathbf{R}) = 0.$$

Множина  $C$  всіх асимптотично досяжних швидкостей називається областю пропускних здатностей КМД. В одній з своїх останніх публікацій [12] К. Шеннон відзначав, що можливий повний опис області  $C$ , однак ця проблема довгий час вважалась повністю не вирішена, лише для випадку  $s=2$  було дано задовільний розв'язок.

Теорія КМД створювалась як модель системи зв'язку з багатьма користувачами, наприклад з системою супутників. Реальне створення такої системи пов'язане низкою технічних труднощів, однією з яких є колосальний об'єм пам'яті, що має передбачатись для приймача. Один з підходів до скорочення об'єму обчислень декодера – розділити час передачі на заявницьку та інформаційну частини. В заявницькій частині синхронно повідомляють про себе ті станції, в яких є готові інформаційні пакети для передачі. Ці повідомлення організовані так, щоб станції могли домовитись про черговість передачі інформаційних пакетів великого обсягу, які тим самим будуть передаватись одноосібно, у відповідності з класичними принципами кодування. Саме в заявницькій частині застосовується теорія КМД, але в модифікованому вигляді: вважається, що множини повідомлень різних передавачів рівнопотужні і, що важливо, вони застосовують однаковий код  $X$ . Ця обставина суттєва для зменшення обсягу використовуваної приймачем пам'яті.

Моделями реальних КМД є такі схеми: диз'юнктивна, що відповідає передачі з допомогою імпульсної модуляції (на виході 0, якщо всі передавачі послали символ 0, і 1 в протилежному випадку), і симетрично диз'юнктивна при передачі з допомогою частотної модуляції (на виході 1 і 0, якщо всі послані символи відповідно 1 і 0, і затертий символ, якщо передавались різні символи). В обох наведених випадках КМД розподіл  $Y$  на виході симетрично залежить від переданих символів. Тому неможливо відновити, яка з станцій передавала той чи інший символ, тобто  $s$ -набори символів, що відрізняються перестановкою індексів, не вирізняються (джерела закодованих повідомлень в принципі можуть бути відновленими, так як в повідомленні можна вказати номер передавальної станції). Таким чином, похибкою при передачі можна вважати подію, коли декодоване повідомлення не співпадає з істинним після довільної перенумерації повідомлень, швидкості всіх кодів рівні  $R$  і область пропускних здатностей редукується до відрізка  $0 \leq R \leq C$ . Найсуттєвіше є те, що в даній схемі застосування принципу поділу часу обмежене внаслідок ідентичності використовуваних станціями кодів.

Цікавим є те, що отримана теоретико-інформаційна модель майже ідентична узагальненню схеми пошуку значимих факторів на випадок вимірювань, збурених випадковими помилками. Така відповідність встановлюється, якщо трактувати план  $X$  як єдиний код, з допомогою якого кодується  $s$ -набір повідомлень – номерів значимих факторів. Неспівпадіння їх номерів не призводить до зміни пропускної здатності коду, тобто граничної швидкості плану  $X$ , що впливає з загальної нерівності

$$|P(X, d, Q) - P(X, d, Q')| \leq \sum Q(\lambda) - Q'(\lambda), \quad (2)$$

звідки оцінка швидкості коду для апріорного розподілу  $Q'$ , близького по варіації до рівномірного  $Q$  на  $M^s$  (наприклад, для рівномірного на множині не співпадаючих  $s$ -наборів), зводиться до отриманої для  $Q$ .

Складною задачею поряд із знаходженням пропускної здатності  $C$  каналу зв'язку є вивчення асимптотик ймовірності похибки, що спадає експоненційно по  $N$  при швидкостях передачі, менших за  $C$ .

Поставимо проблему пошуку з точки зору створення засобу розпізнавання, в якій допускаються не всі тести з визначеним числом результатів. Область пошуку  $K$  вважатимемо повністю впорядкованою. Допустимими вважаються лише ті тести, які узгоджені з визначеним порядком.

Проблема полягає у виявленні сигналу в процесі моніторингу деякої визначеної ділянки місцевості, в якій очікується проходження підрозділу сил спеціального призначення. Виконаємо розбиття скринінгової ділянки на  $n$  ділянок, на межах яких можна очікувати сигнал спостереження.

Припускаємо, що вздовж ділянки траси спостереження в одиницю часу може передаватись сигнал однакової потужності. Якщо потужність сигналу, що фіксується на кінці траси, суттєво спадає, то треба очікувати, що десь має місце збій в проходженні визначеної траскторії. Вимірюючи параметри сигналу, що передається з  $k$ -го сегменту в  $(k+1)$ -й, можна встановити, де відбувся збій в передаванні сигналу, тобто в передній чи задній його частині (відносно межі  $k$ -го і  $(k+1)$ -го сегментів траси пошуку).

Всяке вимірювання має вигляд процедури одержання деякого двійкового тесту. Якщо траса спостереження складається з  $n$  ділянок, то можна ототожнити область пошуку  $K$  з множиною  $\{1, \dots, n\}$ , позначаючи через  $x \in K$  невідомий нам  $x$ -й відтинок, на якому відбувся збій у виявленні сигналу. Вимірювання на межі  $k$ -го і  $(k+1)$ -го сегментів траси пошуку є двійковим тестовим кодом  $t_k := t_{(k=1, \dots, n)}$ , визначений умовою  $t_k(x) = 1 \Leftrightarrow x > k$ . Становить інтерес задача про виявлення «підозрілої» ділянки траси з використанням як можливо меншої кількості вимірювань. Можна показати, що поставлена таким чином задача еквівалентна теоретико-інформаційній задачі про відшукування оптимального алфавітного коду.

Отже загальне формулювання проблеми пошуку полягає в наступному: область пошуку  $K = \{1, \dots, n\}$  впорядкована природним чином. Будемо вважати допустимими всі двійкові тести, узгоджені з цим впорядкуванням:  $t_k := t_{(k=1, \dots, n)}$  ( $0 \leq k \leq n$ ), причому значення  $t_k(x)$  тоді і тільки тоді рівне 1, коли  $x > k$ . Наше завдання полягає в тому, щоб мінімізувати максимальну довжину пошуку, направленою на ідентифікацію шуканого об'єкту.

Спочатку досліджується клас статичних стратегій. Якщо  $t_{i_1}, \dots, t_{i_m}$  – успішна стратегія, то для  $x \in \{1, \dots, n-1\}$  має бути

$$(t_{i_1}(x), \dots, t_{i_m}(x)) \neq (t_{i_1}(x+1), \dots, t_{i_m}(x+1)) \quad (3)$$

Але  $t_{i_j}(x) \neq t_{i_j}(x+1)$  точно тоді, коли  $i_j = x$ . Тому всяка успішна статична стратегія має містити всі тести  $t_k$  ( $1 \leq k \leq n-1$ ). З іншого боку, статична стратегія  $s = (t_1, \dots, t_{n-1})$  успішна.

Дослідимо тепер стосовно до поставленої проблеми пошуку можливості послідовних стратегій. Якщо допустимі всі двійкові коди, то в найгіршому випадку, щоб з впевненістю досягти успіху, треба виконати принаймні  $\lceil \log n \rceil$  тестів. В даній ситуації допустимі лише деякі двійкові коди. Тому і тепер в найгіршому випадку потребується не менше  $\lceil \log n \rceil$  тестів.

Водночас  $\lceil \log n \rceil$  тестів виявляється достатньо. По виконанні декількох тестів, що входять в деяку послідовну стратегію, стає відомо, що шуканий об'єкт належить множині  $A \subseteq K$ . На початку пошуку  $A = K$ . На основі структури наших тестів можна стверджувати, що  $A$  завжди має вигляд  $A = \{i+1, \dots, j\}$ , де  $0 \leq i < j \leq n$ . Застосуємо тепер тест  $t_k$  при  $k := i + \left\lfloor \frac{j-i}{2} \right\rfloor$ . Після цього стає відомим, в якій з множин  $A' = \{i+1, \dots, k\}$  чи  $A'' = \{k+1, \dots, j\}$ , перебуває шуканий об'єкт. Оскільки і  $A' \leq \left\lfloor \frac{1}{2} |A| \right\rfloor$ , і  $A'' \leq \left\lfloor \frac{1}{2} |A| \right\rfloor$ , то множина  $A$  не пізніше за  $\lceil \log n \rceil$  тестів зведеться до одноелементної. Таким чином, шуканий об'єкт буде ідентифікований. Ці міркування можна узагальнити в твердженні.

Твердження. Нехай  $K \in \{1, \dots, n\}$ , і нехай множина допустимих тестів складається з всіх двійкових тестів  $t_k$  ( $0 \leq k \leq n$ ),  $t_k(x) = 1 \Leftrightarrow x > k$ . Якщо задача полягає в тому, щоб мінімізувати максимальну довжину пошуку, то найкраща статична стратегія потребує тестів, тоді як найкраща послідовна стратегія ніколи не потребуватиме більше за  $\lceil \log n \rceil$  тестів.

Зауважимо, що в найпростіших проблемах пошуку не існує послідовних стратегій, кращих за всіх можливих статичних стратегій. Тому, якщо пошук вести систематично, то інформація про результати раніше виконаних тестів не потрібна. Але якщо в процесі пошуку відмовитись від будь-якої системи і вибрати тести незалежно один від одного відповідно до рівномірного розподілу, то в класичних працях [11–13] показано, що ця випадкова стратегія ненабагато поступається відповідно обґрунтованим оптимальним стратегіям. Однак про випадкову стратегію за жодних з обумовлених випадків не можна з впевненістю стверджувати, що вона буде успішною, оскільки можлива ситуація, що в ній постійно буде повторюватись один і той же тест. Але, можна виконати розрахунок, з якою ймовірністю випадкова стратегія буде успішною.

Відзначимо, що можливі ситуації, коли послідовні стратегії не досягають більшого, ніж стратегії статичні, тоді як в поставленій тут і розглядуваній проблемі пошук найкращі послідовні стратегії досягають успіху набагато швидше за кращі статичні стратегії.

Виконуючи певні припущення і умови можна стверджувати, що:

1) краща статична стратегія потребує в найгіршому випадку  $n$  тестів;

2) краща послідовна стратегія ніколи не потребуватиме більше за  $\lceil \log(n+1) \rceil$  тестів (це впливає з розглянутого твердження, оскільки можна показати, що стратегія виявляється успішною в точності тоді, коли вона може розрізняти всі елементи пошуку  $y_i$  ( $0 \leq i \leq n$ ) які є членами ряду впорядкування на множині  $K$ , визначене таким чином:  $y_0 < x_1 < y_1 < x_2 < y_2 < \dots < x_n < y_n$ ).

Більш глибоке вивчення проблеми пошуку передбачає виконання певних процедур. Прийmemo таку формалізацію проблеми: при заданому на множині  $K$  апіорному розподілі треба знайти послідовну стратегію з мінімальною середньою довжиною пошуку.

Як підсумок можна стверджувати, що розглядувана проблема пошуку еквівалентна проблемі побудови алфавітних кодів. В теорії інформації показується [12], що послідовності результатів всякої успішної послідовної стратегії утворюють префіксний код. Цей результат залишається в силі і для сформульованої проблеми пошуку, тому що в ній множина тестів, а тому і більшість стратегій лише звужуються. Внаслідок того, що допустимі тести узгоджені з наявним відношенням порядку, утворюваний з послідовностей результатів префіксний код також володіє певною структурою.

Якщо задаватись ціллію мінімізації максимальної довжини пошуку, то всі об'єкти з області пошуку мають розглядатись як рівноправні. Однак інколи наперед відомо, що можна знайти об'єкт  $x \in K$  з ймовірністю  $p(x)$  для якого  $p(x) > 0$ ,  $\sum_x p(x) = 1$ . В цьому випадку доцільно замість довжини пошуку в найменш сприятливому випадку мінімізувати середню довжину пошуку.

Нехай  $s$  – деяка послідовна стратегія. Можна обмежитись розглядом тільки таких стратегій, в яких жодний з колись застосованих тестів не повторюється. Оскільки в нашому випадку тести вільні від помилок, результат повторного застосування тесту міг би бути передбаченим, і тому повторні тести зайві. Оскільки в нашому розпорядженні є лише скінчене число тестів, можна обмежитись розглядом кінцевих успішних послідовних стратегій  $s = (s_1, \dots, s_k)$ . Якщо шуканим є  $x \in K$ , то результатом застосування першого тесту буде  $e_1(x) := s_1(x)$ . Далі виконується тест  $t_2 := s_2(s_1(x))$ , що дає результат  $e_2(x) := t_2(x)$ . Отримується визначена послідовність результатів

$$e(x) := (e_1(x), \dots, e_{l(x)}(x)) \in \{0,1\}^{l(x)} \quad \text{де} \quad l(x) := \min \{1 \leq j \leq k \mid s_{j+1}(e_1(x), \dots, e_{j(x)}(x)) = \text{STOP}\} \quad (4)$$

Таким чином,  $l(x)$  є довжина пошуку у відповідності з успішною стратегією  $s$  при розпізнаванні об'єкта  $x$  (взагалі її слід було б називати  $l(x, s)$ ). Але у випадку, коли зрозуміло, якою стратегією  $s$  ми керуємося, можна користуватись коротшим позначенням  $l(x)$ . Середньою довжиною пошуку для успішної послідовної стратегії  $s$  називається величина  $E(s) := \sum_x p(x)l(x)$ .

Наступний крок – формулювання відповідної теоретико-інформаційної проблеми і доведення, що її розв’язування еквівалентне розв’язуванню описаної проблеми. Мова йде про проблему передачі одного з  $n$  повідомлень при відсутності перешкод. При цьому повідомлення можуть бути поданими в довільній формі. Водночас по інформаційному каналу можуть передаватись лише літери певного алфавіту  $A$ , в даному випадку – алфавіту  $\{0,1\}$ . Назвемо кодом довільне відображення даної множини повідомлень в множину кодових слів, тобто в множину скінчених послідовностей літер з алфавіту  $A$ . Щоб приймаючий послідовність передавальних повідомлень міг швидко читати, вживаються так звані префіксні коди [11].

Означення. Нехай  $c$  – код для передачі  $n$  повідомлень, і нехай  $c(i) = (c_1(i), \dots, c_{L(i)}(i)) \in \{0,1\}^{L(i)}$  – кодове слово для  $i$ -го повідомлення. Код  $c$  називається префіксним, якщо для довільних двох кодових слів  $c(i)$  та  $c(j)$  ( $i \neq j$ )

$$L(i) \leq L(j) \Rightarrow (c_1(i), \dots, c_{L(i)}(i)) \neq (c_1(j), \dots, c_{L(j)}(j)) \quad (5)$$

(тобто жодне кодове слово не є початком (префіксом) іншого кодового слова).

У випадку, якщо  $a = (a_1, \dots, a_m) \in \{0,1\}^m$  є результатом кодування деякої послідовності повідомлень з допомогою префіксного коду, то її декодування здійснюється таким чином. Визначається максимальне  $m'$ , для якого  $(a_1, \dots, a_{m'})$  – перше. Аналогічно поступають з словом  $(a_{m'+1}, \dots, a_m)$ . Префіксний характер коду гарантує, що послідовність  $a$  має при читанні єдину інтерпретацію. Якщо  $p(i)$  – апіорна ймовірність появи  $i$ -го повідомлення, то середня довжина кодового слова для префіксного коду  $c$  рівна  $E(c) := \sum_{1 \leq i \leq n} p(i)l(i)$ . Щоб передавати якомога меншу кількість літер, намагаються знайти префіксний код з мінімальною середньою довжиною кодового слова.

Дамо формулювання твердження, що проблема побудови оптимальної послідовної стратегії пошуку еквівалентна проблемі створення оптимального префіксного коду.

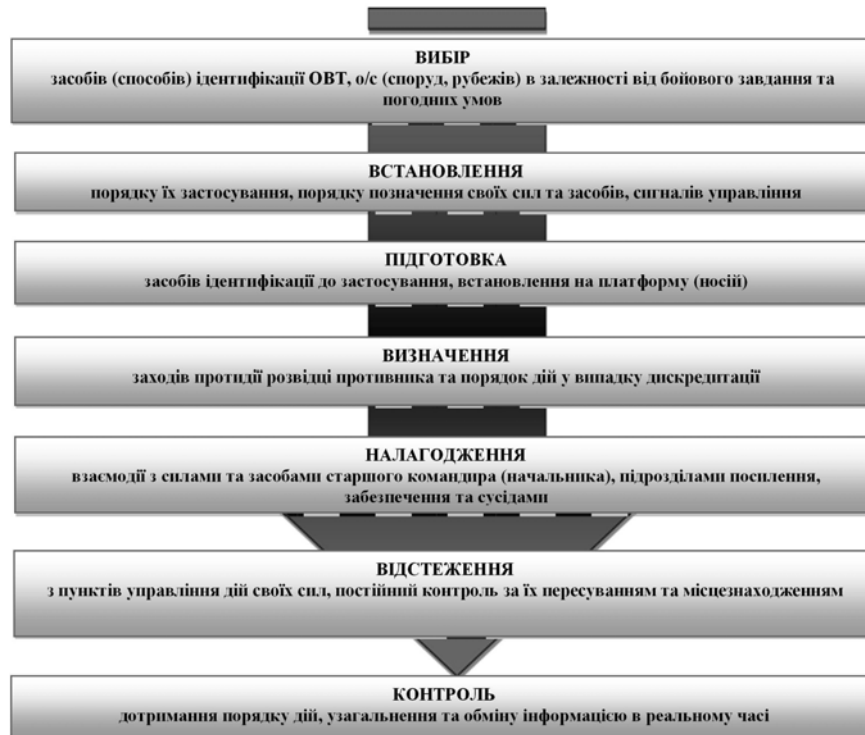
Твердження. 1) Для всякої успішної послідовної стратегії пошуку  $s$  послідовності результатів  $e(1), \dots, e(n)$  утворюють деякий префіксний код.

2) Для всякого префіксного коду  $c$  існує успішна послідовна стратегія, послідовності результатів якої – це кодові слова  $c(1), \dots, c(n)$ .

3) Якщо апіорні розподіли ймовірностей на множині повідомлень  $i$  в області пошуку співпадають, то середня довжина пошуку для оптимальної стратегії рівна середній довжині кодового слова відповідного префіксного коду.

Використання представлених теоретичних напрацювань дає змогу вирішувати наступні прикладні задачі: покращити процедуру ідентифікації цілей особливо на значних відстанях; не затримувати момент відкриття вогню, чекаючи поки бойові машини не зблизяться з потенційною ціллю на відстань, що дозволяє чітко бачити її обриси; ідентифікація цілі на відстані більше 1500–2000 м у ясну погоду, або 500–600 м в умовах обмеженої видимості.

Описана методика може бути використана у процесі ідентифікації своїх або коаліційних сил (рис. 2).



**Рис. 2. Методика роботи командира підрозділу**

Для запуску процесу розпізнавання мають застосовуватись наступні процедури та рекомендації [14–17]:

- для зменшення ризику розголошення запити та відповіді повинні періодично змінюватися та повідомлятися лише за принципом необхідності; оновлені запити, відповіді та їх аналоги, як правило, передаються по інстанції щоденно;
- запити та відповіді не повинні використовуватися поза переднім краєм району бойових дій, за винятком особливих обставин (наприклад, зв'язок із місцем висадки повітряного десанту);
- у випадку фактичного або потенційного порушення безпеки слід використовувати альтернативні запити та відповіді, а також ідентифікаційні конфігурації;
- використання і комплектація конкретних ідентифікаційних засобів чи пристроїв визначається командиром за встановленим порядком, або у формі спеціальних вказівок у вигляді окремого наказу; при цьому постійний перегляд умов використання і комплектації цих засобів є необхідною умовою забезпечення їх відповідності, зниження ризику розголошення та дискредитації;
- використання пасивних або активних пристроїв ідентифікації, що працюють в інфрачервоному спектрі, повинно розглядатися з урахуванням розвідувальних можливостей противника; такі пристрої, у разі їх виявлення, можуть дозволити противнику легше виявити коаліційні сили, якщо вони використовують аналогічні інфрачервоні системи;
- для безпечності використання ідентифікаційні пристрої повинні залишатись прихованими від противника на максимально можливий термін, тобто якомога довше;
- розміщення додаткової броні, ракетних пускових систем або індивідуального спорядження на зовнішній частині бойової машини може змінити її розпізнавальні ознаки та нівелювати дію всіх ідентифікаційних пристроїв; командири підрозділів повинні враховувати це, і у разі необхідності робити відповідні додаткові розпорядження;
- слід уникати використання сигнального диму та вогню тих кольорів, які не визначені для ідентифікації коаліційних сил та не відповідають даному призначенню;



– сили розвідки повинні постійно відстежувати можливість застосування противником пристроїв бойової ідентифікації коаліційних сил. Інформація про використання таких пристроїв силами противника дозволить своєчасно розкрити намір противника та характер його подальших дій;

– обмін інформацією про ідентифікацію та розпізнання; ефективне розпізнавання коаліційних сил, що діють на полі бою, повинно ґрунтуватися на точному знанні військової форми, озброєння та бойових машин, що використовуються цими силами; така обізнаність досягається методом постійних тренувань на всіх рівнях в усіх країнах НАТО; удосконалення підготовки проводиться перед початком спільних операцій для більш детального вивчення ознак сил коаліції та противника, які зустрічаються на полі бою.

Командири усіх ланок несуть повну відповідальність за належну підготовку особового складу до розпізнавання коаліційних сил та сил противника на полі бою (рис. 2).

Для забезпечення врахування питань ідентифікації під час формування наказу в його текст такий підпункт повинен бути включений в окремому розділі, наприклад під назвою «Інструкція з координації заходів бойової ідентифікації».

### Висновки

В останні десятиріччя розвиток засобів збройної боротьби вийшов на якісно новий рівень. Аналіз останніх воєнних конфліктів показав, що відбулося значне зростання можливостей засобів ураження, зокрема, підвищення їх потужності, дальності та швидкості вогневого впливу. Вірогідність потрапити під вогонь своїх або союзних сил дуже висока, якщо у бойових операціях з обох протидіючих сторін задіяна велика кількість особового складу та військової техніки.

Алгоритм процесу проектування систем розпізнавання має вигляд послідовності подій, що описують загальний хід проектування, в рамках якого можливо логічний розвиток розробки. Процес проектування складається з окремих етапів, що дозволяє визначити фактичний стан розробки і наступний етап. Між окремими етапами існує зворотній зв'язок, що вказує на повторюваність етапів, а це означає, що процес проектування є ітераційним і виконується методом послідовних наближень до бажаного результату.

Пропонується розробити «окремий алгоритм» з використання сучасних технологічних досягнень в аспекті положень теорії пошуку, які можуть частково або повністю (на певний період часу) гарантувати інформаційну безпеку та забезпечення укритості локалізації. Рекомендується виконати теоретичні та практичні напрацювання з даного напрямку наукових досліджень, за можливості, включати складовими до відповідних навчальних програм підготовки здобувачів курсантів вищих навчальних закладів військової освіти, які мають відповідати сучасним вимогам до обсягу знань і практичних навичок з даного спрямування.

### Список використаних джерел

1. Алексеев А. Лучшие военные инновации в США в 2010 году / А. Алексеев, Е. Колобов // *Зарубежное военное обозрение*. – 2011. – № 3. – С. 91-92.
2. Как защищаются от «дружественного огня» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.poptech.ru/weapon/15054-zashchita-ot-druzey/full>.
3. Опознавание объектов на поле боя [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dogswar.ru/armii-mira/vooryjenie/592-opoznavanie-obektov-napole-bo.html>.
4. Политов И. Системы опознавания «свой-чужой» ОБТ «Абрамс» и БМП «Брэдли» / И. Политов // *Зарубежное военное обозрение*. – 2001. – № 7. – С. 24–26.
5. Тутков О. Защита от друзей / О. Тутков // *Популярная механика*. – 2013. – № 12 (134).
6. Battlefield Combat Identification System (BCIS) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/bcis.htm>.

7. *Combat Identification Bulletin «Working Together to Prevent Friendly Fire», January 2004.* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.globalsecurity.org/military/library/report/2004/040100btid.pdf>.
8. [Електронний ресурс]. – <https://topwar.ru/1885-svoj-ili-chuzhoj-ogon.html>
9. [Електронний ресурс]. – <https://www.popmech.ru/weapon/15054-zashchita-ot-druzey/>
10. Антоневиц Г.Г. Как искоренить «дружественный огонь» / Г.Г. Антоневиц, А.Г. Куликов // Воздушно-космическая оборона. – 18.02.2011.
11. Альведе Р. Задачи поиска: Перев. с нем. / Р. Альведе, И. Вегенер. – М.: Мир, 1982. – 368 с.
12. Шеннон К. Двусторонние каналы связи. В кн. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963.
13. Дискретная математика для программистов / Ф.А. Новиков. – СПб.: Питер, 2001. – 304 с.
14. Рудковський О.М. Напрями розвитку системи бойової ідентифікації підрозділів в умовах бою / О.М. Рудковський, А.Д. Черненко, П.І. Ванкевич, В.Д. Смичок, // Збірник наукових праць Військової академії. – № 1(19). – Одеса: Військова академія, 2018. – С.17–28.
15. David J. Bryant, David G. Smith. *Comparison of Identify-Friend-Foe and Blue-Force Tracking Decision Support for Combat Identification: Technical Report.* – Toronto: Defense R&D Canada, 2011.
16. Ідентифікація сил на полі бою і в районі операції. Стандарт НАТО АТР-91, – 2015. – С. 1–25.
17. *Land Warrior Integrated Soldier System, United States of America / News, views and contacts from the global Army industry /* <http://www.army-technology.com/projects/landwarrior/>

## РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЕКТОВ В УСЛОВИЯХ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВАНИИ ТЕОРЕТИКО-ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА К ЗАДАЧЕ ПОИСКА

В. Дегтяренко, П. Ванкевич, Е. Иваник, П. Ванкевич, А. Музыка, И. Илькив

Распознавания целей при ведении боевых действий несомненное условие взаимодействия войск. Поэтому актуальной проблемой является разработка требований и постановка задач по обеспечению взаимодействующего распознавания объектов в зоне ведения боевых действий. Основой этих требований есть предложения по улучшению признаков целей: «свой», «чужой» и «нейтральный». Адекватное боевое распознавания обеспечивает повышение эффективности выполнения поставленных задач в процессе ведения боевых действий, уменьшение потерь, нанесенных действиями противника и непреднамеренного использования оружия путем ложного ведения огня по своим войскам. Особую актуальность эта проблема приобретает во время военных действий в рамках ограниченного пространства, когда потеряно или вообще не установлен информационный контакт между взаимодействующими боевыми подразделениями. Общей причиной нанесения боевых потерь своим подразделениям является отсутствие ситуационной осведомленности. В статье дано теоретические основы задачи распознавания принадлежности сил на поле боя или в районе проведения боевых операций с привлечением элементов комбинаторики, математической статистики и теории информации. Подано изложение теоретико-экспериментальной схемы о передаче информации по каналу связи с возможностью многовариантного доступа. Сформулированы теоретико-информационную проблему, где речь идет о возможности передачи одного из некоторой совокупности сообщений при отсутствии препятствий, причем сообщения могут быть поданы в произвольной форме. В то же время по информационному каналу могут передаваться только буквы определенного алфавита, в данном случае – алфавита двоичного кода, то есть ноль или единица. В итоге сформулирован комплекс прикладных задач на основе представленных в статье теоретических разработок, а также процедуры и рекомендации, необходимые для запуска процесса распознавания.

**Ключевые слова:** боевые действия, идентификация, эффективность поражения целей, теория интеллектуальных систем, задача поиска, информация, алфавитный код, префиксный код, последовательная стратегия поиска, асимптотика вероятности погрешности, априорное распределение вероятностей на множестве уведомлений, алгоритм поиска, канал связи с множественным доступом, теоретико-информационная модель, трасса наблюдения.

---

**DISCERN OF THE OBJECTS UNDER BATTLE ACTIONS ON THE BASIS OF THEORETICAL-  
INFORMATION APPROACH TO THE SEARCH PROBLEM**

V. Dehtiarenko, P. Vankevych, E. Ivanyk, P. Vankevych, O. Musyka, I. Ilkiv

*Recognizing targets during combat operations is an indisputable condition for the interaction of troops. Therefore, the urgent problem is the development of requirements and the formulation of tasks for ensuring mutual recognition of objects in the area of warfare. These requirements are based on suggestions for improving the attributes of goals: «one's own», «another» and «neutral». Adequate combat recognition provides increased effectiveness in the performance of tasks in the combat process, reducing the damage caused by the enemy's actions and inadvertent use of weapons by erroneously firing their troops. This problem becomes especially relevant during military operations within a confined space, when information contact between the interacting units is lost or not established at all. A common reason for inflicting combat casualties on their units is the lack of situational awareness. The article gives a theoretical basis for the task of recognizing the belonging of forces on the battlefield or in the area of combat operations involving elements of combinatorics, mathematical statistics and information theory. A theoretical experimental scheme for transmitting information via a multivariate access channel is presented. A theoretical information problem is formulated, which refers to the possibility of transmitting one of a set of messages in the absence of obstacles, and the messages can be submitted in any form. At the same time, only letters of a certain alphabet can be transmitted on the information channel, in this case, a binary code alphabet, i.e. zero or one. As a result, a set of applied problems is formulated on the basis of the theoretical works presented in the article, as well as the procedures and recommendations needed to start the recognition process.*

**Key words:** battle actions, identification, the effectiveness of the destroy of target, the theory of the intellectual system, search problem, information, the alphabetical code, prefix code, gradually search strategy, the asymptotic probability mistake, a priori probability distribution on the multiply of report, search algorithm, the channel link with multiply access, theoretical-information model, watch route.