

УДК 004.89

DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.1.2.13>**Я. І. КОРНАГА**

професор кафедри інформаційних систем та технологій
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0001-9768-2615

О. І. МАРЧЕНКО

старший викладач кафедри інформатики та програмної інженерії
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0001-5754-4920

М. О. СОЛДАТОВА

доцент кафедри інформаційних систем та технологій
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0003-1233-1272

Ю. А. БАЗАКА

старший викладач кафедри інформаційних систем та технологій
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID: 0000-0002-4632-1649

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ СТРАТЕГІЧНИХ РІШЕНЬ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Проблема створення інтелектуальних інформаційних технологій у військовій сфері актуальна і своєчасна, оскільки практично відсутня методична база та методологічні основи створення інтелектуальних інформаційних технологій. Успішне проведення військових операцій потребує своєчасного комплексного інформаційного забезпечення бойових дій, що вже неможливо без сучасних інтелектуальних інформаційних технологій, зокрема інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

В даній статті для більш зрозумілого змісту прийнятого рішення пропонується використовувати комбінований підхід на основі фреймової структури моделі подання знань з використанням продукційних правил. Для отримання потенційно кращої альтернативи оперативного військового рішення пропонується схема механізму нечіткого логічного виведення із зваженими консеквентами, тобто з використанням ступенів достовірності та важливості знань. Схема включає операції: формування основи правил системи нечіткого логічного виведення; перетворення вхідних змінних у значення функцій приналежності елементів нечітких множин вхідних лінгвістичних змінних; порівняння значень функцій приналежності різних вхідних змінних для отримання ваги кожного правила; визначення початкових нечітких значень з кожного правила; перетворення значень функцій приналежності вихідних змінних у вихідне значення. Продукційні правила видають зрозуміле військовим пояснення, що включає перелік ознак, з урахуванням яких формується потенційно краще військове рішення. Спосіб подання нечітких знань як нечітких продукційних правил сьогодні є найбільш універсальним. Прийняття потенційно кращого військового рішення в умовах бойових дій вимагає зваженої експертної оцінки з урахуванням максимально можливої для поставленої задачі кількості чинників, що обумовлено можливістю їх формалізації за умови наявності експертів у відповідній предметній області військовій сфері

Ключові слова: оперативне військове управління, ІСППР військового призначення, фреймова модель подання знань, продукційні правила, схема логічного виведення із зваженими консеквентами.

YA. I. KORNAGA

Professor at the Department of Information Systems and Technologies
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0001-9768-2615

O. I. MARCHENKO

Senior Lecturer at the Department of Informatics and Software Engineering
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0001-5754-4920

M. O. SOLDATOVA

Associate Professor at the Department of Information Systems and Technologies
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0003-1233-1272

YU. A. BAZAKA

Senior Lecturer at the Department of Information Systems and Technologies
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
ORCID: 0000-0002-4632-1649

INTELLECTUAL SYSTEM FOR SUPPORTING STRATEGIC DECISIONS OF MILITARY PURPOSE

The problem of creating intelligent information technologies in the military sphere is relevant and timely, since there is practically no methodological base and methodological foundations for creating intelligent information technologies. Successful military operations require timely comprehensive information support for combat operations, which is no longer possible without modern intelligent information technologies, in particular intelligent decision support systems. In this article, for a more understandable content of the decision, it is proposed to use a combined approach based on the frame structure of the knowledge representation model using production rules. To obtain a potentially better alternative to an operational military decision, a scheme of a fuzzy logical inference mechanism with weighted consequences is proposed, i.e. using degrees of reliability and importance of knowledge. The scheme includes operations: forming the basis of the rules of the fuzzy logical inference system; transforming input variables into values of membership functions of elements of fuzzy sets of input linguistic variables; comparing the values of membership functions of different input variables to obtain the weight of each rule; determination of initial fuzzy values from each rule; transformation of values of membership functions of initial variables into initial value. Production rules give an explanation understandable to the military, which includes a list of features, taking into account which a potentially better military decision is formed. The method of presenting fuzzy knowledge as fuzzy production rules is the most universal today. Making a potentially better military decision in combat conditions requires a weighted expert assessment taking into account the maximum possible number of factors for the task, which is due to the possibility of their formalization provided that there are experts in the relevant subject area of the military sphere

Key words: operational military management, IDSS for military purposes, frame model of knowledge representation, production rules, logical inference scheme with weighted consequences.

Постановка проблеми

Нові форми та методи ведення бойових дій характеризуються суттєвим зростанням ролі інтелектуальних інформаційних технологій, які вже широко застосовуються в системах озброєння та управління військами. Успішне проведення військових операцій потребує своєчасного комплексного інформаційного забезпечення бойових дій, що вже неможливо без сучасних інтелектуальних інформаційних технологій, які можуть забезпечувати:

- отримання повної поінформованості про противника та його дії;
- здатність ефективно керувати військовими підрозділами та системами озброєння військового та спеціального призначення;
- підвищення бойової готовності та живучості військових підрозділів;
- підвищення оперативності та синхронності управління військовими підрозділами;
- забезпечення високого темпу ведення операцій і високої ймовірності поразки противника.

Основними цілями впровадження сучасних інтелектуальних інформаційних технологій для використання їх у військовій сфері є:

- забезпечення стійкості, безперервності, оперативності та скритності управління військовими підрозділами в будь-яких умовах бойових дій;
- забезпечення необхідної якості взаємодії при веденні бойових дій, в тому числі у складі міжвидових угруповань військових підрозділів;
- забезпечення безпеки інформаційного обміну, захищеності від РЕБ;
- забезпечення оперативності збору, обробки та обміну даними [1, 2].

Проте сьогодні практично відсутня методична база та методологічні основи створення інтелектуальних інформаційних технологій у військовій сфері. Звідси, проблема створення інтелектуальних інформаційних технологій у військовій сфері актуальна і своєчасна. Серед інтелектуальних інформаційних систем важливе значення має розробка та використання у проведенні бойових дій інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) військового призначення.

Формулювання мети дослідження

Останнім часом для діагностики та прогнозування в ІСППР досить поширене застосування штучних нейронних мереж. Однак слід мати на увазі, що в основі прийняття рішення в них лежить обчислювальна процедура, яка ґрунтується на перетворенні вхідних коефіцієнтів ознак. Відповідно, вони є «чорною або сірою скринькою», що не дозволяє військовим отримувати пояснення рішення, що видається. В якості варіанта виходу із цієї ситуації пропонується використовувати комбінований підхід на основі фреймової структури моделі подання знань (МПЗ) з використанням продукційних правил. Продукційні правила видають зрозуміле військовим пояснення, що включає перелік ознак, з урахуванням яких формується потенційно краще військове рішення. Слід зазначити, що спосіб подання нечітких знань як нечітких продукційних правил є сьогодні найбільш універсальний.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

При визначенні оптимального варіанта вирішення тієї чи іншої проблеми, що виникає в тій чи іншій сфері діяльності людини, зокрема військовій, зазвичай доводиться враховувати велику кількість невизначених і суперечливих факторів. Невизначеність є невід'ємною частиною процесів прийняття рішень більшості сфер діяльності людини. Невизначеність пов'язана, насамперед, з неповнотою знання проблеми, через яку має бути прийняте рішення і неможливістю повного обліку реакції довкілля, тобто поточної ситуації. Суперечливість виникає через неоднозначність оцінки ситуацій, помилки у виборі пріоритетів, що, зрештою, сильно ускладнює прийняття рішень. І тут найефективнішим інструментом прийняття потенційно кращого рішення є різноманітні інтелектуальні інформаційні системи (ІС), зокрема, інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) (IDSS – Intelligent Decision Support System) [3–6]. Залучення ІС є ефективним інструментом системного аналізу та прогнозування розвитку військових операцій. Необхідність застосування ІСППР військового призначення обумовлена тим, що при прийнятті стратегічних військових рішень враховуються фактори, що слабо формулюються. Крім того, при ухваленні цих рішень виникає проблема багатокритеріальності. На разі використання ІСППР дуже важливе у військовій сфері, де в результаті певних аналітичних та логічних процедур потрібно отримувати в реальному часі необхідне стратегічне військове рішення [7–9]. На рис. 1 наведено узагальнену структуру ІСППР військового призначення для ухвалення потенційно кращих стратегічних військових рішень. Алгоритм прийняття потенційно кращого стратегічного рішення (ПКСР) відзначений на рис. 1 штрих-пунктирною лінією.

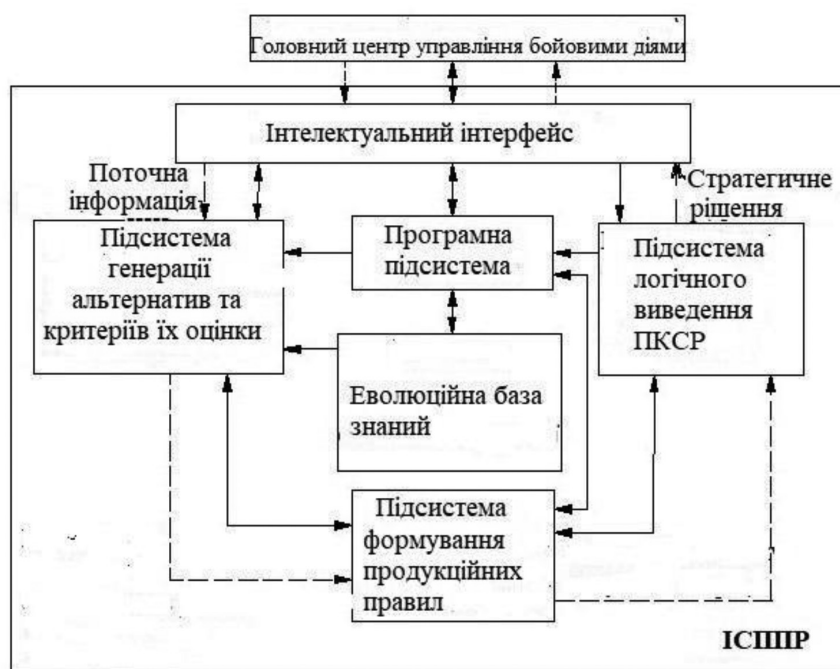


Рис. 1. Структура ІСППР військового призначення

Наведена на рис. 1 структура ІСППР військового призначення забезпечує в діалозі з експертами військової сфери автоматизоване налаштування на області військової сфери шляхом введення в систему основних понять, атрибутів, їх можливих значень, зв'язків між ними, а також типів можливих ситуацій, характерних для окремих областей військової сфери. База знань (БЗ) визначається як МПЗ. Слід підкреслити, що розробка МПЗ є найскладнішим етапом, «вузьким місцем» створення будь-яких інтелектуальних систем, зокрема і ІСППР військового призначення.

Рішення задачі

Прийняття потенційно кращого військового рішення в умовах бойових дій вимагає зваженої експертної оцінки з урахуванням максимально можливої для поставленої задачі кількості чинників, що обумовлено можливістю їх формалізації за умови наявності експертів у відповідній предметній області військовій сфері. Як зазначалося вище у цій статті пропонується будувати ІСППР військового призначення з урахуванням схеми нечіткого логічного виведення [10].

Згідно запропонованого вище комбінованого підходу до побудови МПЗ для ІСППР військового призначення (рис. 1) пропонується схема механізму нечіткого логічного виведення із зваженими консеквентами, тобто з використанням ступенів достовірності та важливості знань. Схема механізму нечіткого логічного виведення із зваженими консеквентами, основу якого становить композиційне правило Заде, представлена на рис. 2. Композиційне правило виведення Заде трактується наступним чином: якщо відомо нечітке відношення між вхідною (x) і вихідною (y) змінними, то при нечіткому значенні вхідної змінної $x = \tilde{A}$, нечітке значення вихідної змінної визначається так:

$$y = \tilde{A} \circ R,$$

де $\circ$ – знак максимінної композиції.

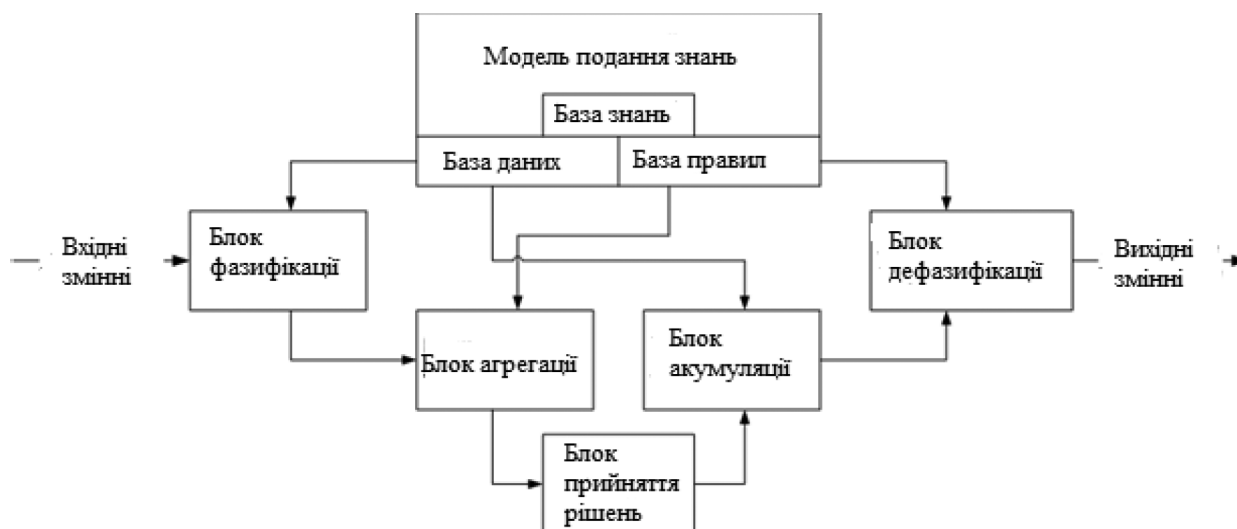


Рис. 2. Схема механізму нечіткого логічного виведення

Схема включає наступні операції:

- формування основи правил системи нечіткого логічного виведення;
- перетворення вхідних змінних у значення функцій приналежності елементів нечітких множин вхідних лінгвістичних змінних (фазифікація);
- порівняння значень функцій приналежності різних вхідних змінних для отримання ваги кожного правила (агрегування);
- визначення початкових нечітких значень з кожного правила (накопичення);
- перетворення значень функцій приналежності вихідних змінних у вихідне значення (дефазифікація).

Для реалізації в даній схемі механізму логічного виведення в ІСППР військового призначення задаються обчислювальні функції, які дозволяють розрахувати:

- ступінь невизначеності антецеденту в міру невизначеності його компонентів;
- ступінь невизначеності наслідків за мірами невизначеності правила та передумови правила;
- сукупний ступінь невизначеності твердження щодо заходів, виведених із правил.

Введення ступеня невизначеності дозволяє домогтися об'єднання ступенів достовірності C_n^k , факторів важливості знання I_n^i та кількох свідчень, що підтверджують або спростовують одну й ту саму версію. Слід зауважити,

що реалізація механізму логічного виведення в БЗ впливає на загальну стратегію виведення: з одного боку, необхідно домогтися використання всіх релевантних факторів та правил, з іншого – досягти одноманітного та одноразового їх впливу на процес ухвалення рішення. Ситуаційна невизначеність у предметній військовій області, як множинний чинник прийняття рішення щодо можливості формалізації, має бути перенесена в площину математичних обчислень, що в даному випадку вдається зробити у вигляді застосування основних принципів використання механізмів логічного виведення.

Згідно запропонованого вище комбінованого підходу до побудови МПЗ для ІСППР військового призначення розглянемо основні його елементи. Відомо, що основними елементами фреймової МПЗ є:

1. Узагальнена лінгвістична змінна фреймової МПЗ, яка має такий вигляд:

$$\omega = (n, T(n), U, G, M), \quad (1)$$

де ω – лінгвістична змінна; $T(n)$ – терм-множина її значень, які являють собою найменування нечітких змінних; U – область визначення кожної нечіткої змінної; G – якась синтаксична процедура, що служить для розширення множини $T(n)$ генерації нових елементів; M – спеціальна семантична процедура, що інтерпретує значення лінгвістичної змінної, які утворюються в результаті виконання процедури G , у нечітку змінну, тобто, формує відповідну нечітку множину.

2. Знання A_k фреймової МПЗ визначається наступним чином (приклад):

$$A_k = \text{IF}(\omega_1 \mu_1(u) U_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } \omega_l \mu_l(u) U_l) \text{ THEN } \omega_k \mu_k(u) U_k \quad (2)$$

де ω – лінгвістична змінна; $\mu(u)$ – функція приналежності; U – область визначення $\mu(u)$.

3. Рішення

$$R = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}, \text{ (як множина знань } A_k) \quad (3)$$

Кожній узагальненій лінгвістичній змінній, визначній на множині значень вхідних параметрів однозначно ставитимемо у відповідність елементи множини факторів достовірності C_n^k та елементи множини факторів важливості знання I_n^l . Значення A_k визначає експерт і формалізує інженер за знаннями, (k і l – відповідно, підмножини в рамках множини факторів n), причому:

$$C_n^k, I_n^l = (0, 1]. \quad (4)$$

Оскільки у проведенні бойових дій присутні явні нечіткі причинно-наслідкові зв'язки, більш простим і ефективним варіантом побудови МПЗ є комбінований підхід на основі фреймової структури моделі знань з використанням продукційних правил, який передбачає такий спосіб організації обчислювального процесу, при якому програма перетворення інформаційної структури МПЗ задається у вигляді системи продукційних правил виду: «Умова (Antecedent) $\rightarrow$ Наслідок (Consequent)» [10]. Продукційні правила полегшують утворення пояснень, результати отриманих висновків та розрахунків. Вони можуть опрацьовувати незаплановані, але корисні взаємодії. Іншими словами, вони можуть використати порцію знань, коли це необхідно.

Звідси, експертні знання про вибір рішення представлятимемо у вигляді множини нечітких лінгвістичних висловлювань, рівного:

$$A = (\text{IF } (\alpha_1 \text{ THEN } \beta_1) \text{ AND } \dots \text{ AND } (\alpha_i \text{ THEN } \beta_i), \quad (5)$$

де α_i – узагальнена лінгвістична змінна, визначена на множині значень вхідних параметрів; β_j – узагальнена лінгвістична змінна, визначена на множині значень вихідних параметрів.

Суть механізму логічного виведення в даному випадку полягає у визначенні залежності змінної β від відповідного значення α з урахуванням фактору достовірності C_n^k і фактору важливості знання I_n^l .

Таким чином, для використання механізму процедури нечіткого логічного виведення необхідно розв'язати дві такі задачі:

1. Необхідно побудувати деяке відображення, за допомогою чого значення β оголошеної нечіткої змінної α ставиться в однозначну відповідність функції приналежності. Це завдання вирішується за допомогою повторення функції належності найближчого базового значення лінгвістичної змінної α .

2. Необхідно визначити ступінь істинності β щодо лінгвістичного висловлювання α . Дане значення ступеня істинності експертним шляхом визначається нечіткою множиною на інтервалі $[0, 1]$.

Оскільки взяття до уваги факторів з недостатнім ступенем достовірності може стати причиною генерації неякісного рішення, розгляду піддаються, як правило, фактори зі значенням C_n^k , що перевищує 0,8.

Слід також зазначити, що, оскільки у даній МПЗ кожній причині відповідає пояснення, у якому як наслідок закладено готовий механізм реалізації цієї причини, то процедура загального нечіткого логічного виведення значно спрощується.

Висновки

Проблема створення інтелектуальних інформаційних технологій у військовій сфері актуальна і своєчасна, оскільки практично відсутня методична база та методологічні основи створення інтелектуальних інформаційних технологій. Успішне проведення військових операцій потребує своєчасного комплексного інформаційного забезпечення бойових дій, що вже неможливо без сучасних інтелектуальних інформаційних технологій, зокрема ІСППР. В даній статті для більш зрозумілого змісту прийнятого рішення пропонується використовувати комбінований підхід на основі фреймової структури МПЗ з використанням продукційних правил. Для отримання потенційно кращої альтернативи оперативного військового рішення пропонується схема механізму нечіткого логічного виведення із зваженими консеквентами, тобто з використанням ступенів достовірності та важливості знань.

Список використаної літератури

1. Гавриленко А. С. Аналіз застосування технологій штучного інтелекту в системах військового призначення / Випробування та сертифікація, № 1(3), 2024. С. 40–44. DOI: <https://doi.org/10.37701/ts.03.2024.6>
2. Ткачук П. П., Литвин Е. В., Лучук Е. В. Система підтримки прийняття рішень як складова автоматизованої системи управління Сухопутних військ Збройних Сил України. Військово-технічний збірник. 2014. № 11. С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.11.2014.56-63>.
3. Trofimchuk O., Stenin A., Soldatova M., Drozdovich I. (2022) Intelligent decision support systems in the development of megapolis infrastructure. System research and information technologies, NTUU KPI, no. 2, p. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.04>
4. Литвин В. В., Даревич Р. Р., Досин Д. Г. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень на основі адаптивних онтологій / Штучний інтелект, № 3, 2011. С. 388–395.
5. Ткачук П. П., Литвин В. В., Лучук Е. В. Система підтримки прийняття рішень як складова автоматизованої системи управління Сухопутних військ ЗСУ / Військово-технічний збірник, № 11, 2014. С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.11.2014.56-63>
6. Павленко М. А., Осієвський С. В., Золотухіна О. А. Модель підтримки процесів розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / Телекомунікаційні та інформаційні технології, № 4, 2020. С. 134–139. DOI: <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2020.044031>
7. Загорка О. М., Корецький А. А., Загорка І. О., Комолаєва Т. М. Підтримка вироблення рішень під час ситуаційного управління операцією (боем): методичне забезпечення / Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України, № 1(68), 2020. С. 98–109. DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2020-0/98-109>
8. Будур І. М., Бойко С. А. Мультиагентна модель системи підтримки прийняття рішення по управлінню розподіленими об'єктами / Системи озброєння і військова техніка, 2020. С. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.63.08>
9. Авраменко Д. Функціональна модель системи підтримки прийняття рішень в системі стратегічних комунікацій Збройних Сил України / Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, № 3(48), 2023. С. 140–146. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-48-3-140-146>
10. Zeleznikow J., Nolan J. (2021) Using soft computing to build real world intelligent decision support systems in uncertain domains // Decision Support Systems, vol. 31(2). p. 263–285. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(00\)00135-4](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(00)00135-4)

References

1. Gavrylenko A. *Analysis of the application of artificial intelligence technologies in military systems*. Testing and certification, vol. 1(3), 2024. p. 40–44. DOI: <https://doi.org/10.37701/ts.03.2024.6>
2. Tkachuk P., Lytvyn E., Luchuk E. *Decision support system as a component of the automated control system of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine*. Military-technical collection. 2014. no. 11. p. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.11.2014.56-63>
3. Trofimchuk O., Stenin A., Soldatova M., Drozdovich I. *Intelligent decision support systems in the development of megapolis infrastructure*. System research and information technologies, NTUU KPI, no. 2, 2022. p. 61–74. DOI: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.04>
4. Lytvyn V., Darevich R., Dosyn D. *Intelligent decision support systems based on adaptive ontologies*. Artificial Intelligence, no. 3, 2011. p. 388–395.
5. Tkachuk P., Lytvyn V., Luchuk E. *Decision support system as a component of the automated control system of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine*. Military-technical collection, no. 11, 2014. p. 56–63. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.11.2014.56-63>

6. Pavlenko M., Osievsky S., Zolotukhina O. *Model of support for the development of intelligent decision support systems*. Telecommunications and Information Technologies, no. 4, 2020. p. 1341–139. DOI: <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2020.044031>
7. Zagorka O., Koretsky A., Zagorka I., Komolaeva T. *Support for decision-making during situational control of an operation (battle): methodological support*. Collection of scientific papers of the Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine, vol. 1(68), 2020. p. 98–109. DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2020-0/98-109>
8. Budur I., Boyko S. *Multi-agent model of a decision support system for managing distributed objects*. Weapons Systems and Military Equipment, 2020. p. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.63.08>
9. Avramenko D. *Functional model of a decision support system in the strategic communications system of the Armed Forces of Ukraine*. Modern information technologies in the field of security and defense, vol. 3(48), 2023. p. 140–146. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-48-3-140-146>
10. Zeleznikow J., Nolan J. *Using soft computing to build real world intelligent decision support systems in uncertain domains*. Decision Support Systems, vol. 31(2), 2001. p. 263–285. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-9236\(00\)00135-4](https://doi.org/10.1016/S0167-9236(00)00135-4)