

Порохня І. М.

(0000-0002-7307-4743)

Гусак Ю. А., доктор військових наук, професор

(0000-0002-3423-2112)

Інститут інформаційно-комунікаційних технологій та кібероборони Національного університету оборони України, Київ

Логіко-предикатна модель процесу інформаційно-аналітичного забезпечення органів військового управління

Резюме. У статті представлено розгорнуту логіко-предикатну модель інформаційно-аналітичного забезпечення органів військового управління стратегічного, оперативного, тактичного рівня, яка спрямована на формалізацію структури предметної області, організаційно-функціональних процесів інформаційно-аналітичного забезпечення на основі чітко визначених доменів, множин сутностей, предикатів, аналітичних функцій і механізмів формального логічного виведення. Запропонований підхід базується на використанні апарату логіки предикатів першого порядку для побудови формалізованої онтологічної моделі, у межах якої систематизуються ключові елементи системи її функції, діяльність, інформаційні потоки, ресурси, часові параметри, інформаційні продукти та взаємозв'язки між ними. Така формалізація дає змогу перейти від інтуїтивного або описового представлення діяльності органів військового управління до строгої математичної інтерпретації процесів, що забезпечує можливість їх логічного аналізу, структурної декомпозиції та алгоритмізації.

Ключові слова: логіко-предикатна модель; інформаційно-аналітичне забезпечення; система інформаційно-аналітичного забезпечення; орган військового управління; логіка предикатів; динамічні системи; інтелектуальні системи; оптимізація рішень; *system of systems*.

Постановка проблеми. Сучасні умови функціонування органів військового управління характеризуються значним зростанням обсягів інформації, з різних джерел, швидкими змінами оперативної обстановки та необхідністю прийняття обґрунтованих управлінських рішень в умовах невизначеності та обмеженого часу. Значна частина вхідної інформації має слабкоструктурований або взагалі неструктурований характер, що ускладнює її формальну обробку, інтеграцію та аналітичне використання в межах існуючих інформаційних систем. Відсутність єдиного формалізованого підходу до подання знань, семантичних зв'язків та логіки прийняття рішень знижує ефективність інформаційно-аналітичного забезпечення (далі – ІАЗ) органів військового управління стратегічного, оперативного, тактичного рівня (далі – ОВУ) та ускладнює їх функціонування. Одним із важливих підходів до вирішення проблем функціонування ОВУ є створення системи інформаційно-аналітичного забезпечення органів військового управління (далі – СІАЗ ОВУ) з використанням логіки предикатів, яка дає змогу інтерпретувати СІАЗ ОВУ у формальну систему, функціонування якої базується на логічних правилах, предикатах і процедурах. Такий підхід здатний формалізувати опис станів системи, взаємозв'язки між її елементами та алгоритми

роботи системи в умовах виконання завдань інформаційно-аналітичного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні проведено низку досліджень, що зосереджені на окремих функціональних аспектах ІАЗ без комплексного розгляду системи в цілому. Використання нечітких предикатів у векторно-матричному поданні, що дають змогу ввести логічні операції без довільних допущень розглянуто у роботах [1-3]. Запропоновано структурувати інформаційний ресурс логікою предикатів з використанням семантичних мереж як базової моделі знань та застосовувати нечіткі предикати і квантори для роботи з невизначеністю. Це дає змогу зробити ІАЗ більш формалізованим, обґрунтованим і придатним для автоматизації.

У роботі [4] запропоновано формувати логічне мислення конкурентоспроможного фахівця з використанням системи нестандартних логічних задач у навчальному процесі. Позитивним є те, що методологічно обґрунтовано використання математичної логіки як універсального інструмента моделювання складних систем, зокрема логіка предикатів забезпечує точний опис абстрактних відношень між об'єктами, що відповідає моделі взаємодії “підрозділ – діяльність – дані – результат”.

Метод застосування лінійно-логічних операторів і логічних рівнянь для видобування

інформації розроблено у [5]. Проведено теоретичне обґрунтування структури аналітичного циклу (збір – обробка – аналіз – прогноз – доведення), підходи до формалізації інформаційних потоків між суб'єктами управління, опис ролі сценарного аналізу та оцінювання ймовірностей розвитку подій, методичні засади формування інформаційного продукту та вимоги до його релевантності й адресності, а також принципи інтеграції даних.

Побудову логістично-інформаційних моделей у системах підтримки прийняття рішень логістичного забезпечення на основі алгебри предикатів розглянуто в роботі [6]. Такий підхід дає змогу сформуванню структурно-інформаційну модель ІАЗ. Це дає змогу описувати складні інформаційні процеси за допомогою формальних логічних конструкцій, визначати відношення між об'єктами предметної області та виконувати логічне перетворення знань у формалізованих системах.

Підхід до побудови логічних систем та композиційно-номінативні логіки предикатів, що використовуються для формалізованого опису складних предметних областей досліджено у роботі [7]. Це створило теоретичну основу для формалізації знань, побудови логічних моделей інформаційних процесів та підтримки прийняття управлінських рішень у складних системах військового управління.

У роботі [8] використано технологію структурного аналізу та метод функціонально-ієрархічного моделювання SADT для аналізу функціонування системи ІАЗ, застосування якого дає змогу здійснювати ієрархічну декомпозицію ключових процесів, визначити їх функціональний зміст та закономірності, описати відповідні інформаційні процеси. У [9] розглянута ієрархічна структуризація процесу функціонування ІАЗ ОВУ та визначена логічна послідовність вирішення проблем, що ґрунтується на побудові направлених графів і матриць досяжності.

Так у роботі [10] розглянуті композиційно-номінативні логіки, орієнтовані на специфікації програм. Пропонується спектр композиційно-номінативних логік різних рівнів абстрактності та загальності. Для логік еквітонних квазіарних предикатів на основі секвенційних числень доведені теореми про визначність. Такий підхід дає змогу формалізувати структуру предметної області, описувати взаємозв'язки між об'єктами та операціями обробки інформації.

Результати аналізу наведених джерел свідчать про те, що використання алгебри предикатів використовується для формалізації структури різних предметних областей, зокрема і інформаційно-аналітичного забезпечення. Разом з тим розвиток науково-методичного апарату стосовно формалізації процесів ІАЗ ОВУ на основі логіко-предикатного підходу є важливим науковим завданням, оскільки це може забезпечити структурований опис інформаційних процесів, підвищити обґрунтованість аналітичних результатів та створити основу для автоматизації підтримки прийняття рішень.

Метою статті є розроблення логіко-предикатної моделі процесу інформаційно-аналітичного забезпечення органів військового управління, що формалізує послідовну конвертацію даних у знання через етапи збору, обробки, аналізу, прогнозування, доведення для прийняття управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу. У сучасних умовах функціонування ОВУ зростають вимоги до оперативності збору, обробки, аналізу інформації її формалізації у процесі прийняття рішень керівним складом. Значні обсяги різномірної інформації, її низький рівень структуризації ускладнюють узгодженість управлінських дій. За цих умов створення СІАЗ ОВУ є потрібним інструментом підвищення ефективності управління. Використання формальних методів подання знань, а також логічні виведення про її функціонування здатна забезпечити цілісність, узгодженість роботи, підвищить якість та своєчасне прийняття управлінських рішень.

Процес ІАЗ ОВУ доцільно представити у вигляді кортежу, в якому кожен елемент має чітку семантичну інтерпретацію, а саме:

$$M_{IAC} = \langle D, O, P, F, R, T, S \rangle, \quad (1)$$

де D – множина доменів предметної області, що відображають основні процеси ІАЗ, зокрема ресурси, сили та засоби, процеси та обмеження, а також компоненти ІАЗ, які забезпечують збір, обробку, аналіз, прогноз і доведення інформації для підтримки управлінських рішень;

O – конкретні об'єкти, що функціонують у системі. До них можуть належати реальні або абстрактні об'єкти управління, інформаційні ресурси, підрозділи ІАЗ ОВУ та інші елементи, які займаються збором, обробкою та аналізом інформації;

P – логічні властивості та відношення, що визначають взаємозв'язки між об'єктами та сутностями предметної області, а також предикати, які задають структурні, функціональні, причинно-наслідкові залежності, що використовуються у процесі логічного виведення;

F – аналітичні функції оцінювання, що використовується для аналізу станів системи, обчислення показників ефективності, ризиків, необхідних для підтримки управлінських рішень на стратегічному рівні управління;

R – правила прийняття рішень, що формалізують логіку вибору управлінських рішень на основі заданих предикатів. Це дає змогу автоматизувати процес формування рекомендацій для посадових осіб ОВУ;

T – часова шкала, що використовується для опису динаміки процесів, подій та змін станів системи, суттєво відрізняється залежно від рівня управління за масштабами, ступенем деталізації та характером відображення інформації: на стратегічному рівні вона є довгостроковою, узагальненою та орієнтованою на виявлення тенденцій і формування сценаріїв розвитку (довгострокове); на оперативному рівні – середньостроковою, більш деталізованою, спрямованою на відображення ходу операцій і змін обстановки (декілька днів, тижні); на тактичному рівні – короткостроковою, максимально деталізованою та подієво орієнтованою, що забезпечує відображення конкретних дій і реакцій у реальному часі (години);

S – сукупність динамічних станів процесу ІАЗ ОВУ, кожен елемент якої характеризується певним набором об'єктів, відношень і часових параметрів.

Оскільки предметна область процесу ІАЗ ОВУ визначається множиною доменів *D*, що задають базові класи сутностей, якими оперує система, зокрема особовий склад, підрозділи, завдання, ресурси, просторові та часові характеристики, а також загрози, то саме домени формують концептуальну основу системи, забезпечуючи єдине тлумачення інформації, що надходить з різних джерел.

На основі доменів формується множина об'єктів *O*, що визначає підрозділи ОВУ,

посадові особи, ресурси, які відображають поточну оперативну обстановку. Саме взаємозв'язки між об'єктами, їх властивості та організаційна структура процесу ІАЗ ОВУ задається множиною предикатів *P*, що забезпечує формалізований опис станів системи. За допомогою таких предикатів встановлюється належність особового складу до підрозділу ОВУ, наявність ресурсів, а також інші співвідношення, що мають значення для аналізу інформації. Сукупність таких логічних тверджень формує опис ситуацій, на основі якого здійснюється подальше аналітичне опрацювання.

Аналітична складова системи реалізується через множину функцій *F*, що виконують оцінювання, прогнозування та узагальнення інформації. Ці функції дають змогу визначити рівень загроз, оцінити достатність ресурсів, провести аналіз бойових дій та наслідки прийнятих управлінських рішень.

Результатом роботи аналітичних функцій є вихідні данні для правил прийняття рішень *R*, що формалізують логіку прийняття рішення. Правила визначають умови, за яких система рекомендує певні дії, формує варіанти рішень або здійснює логічне виведення нових знань на основі отриманої інформації з підпорядкованих підрозділів та результатів проведеного аналізу.

Функціонування процесу ІАЗ здійснюється в межах часової шкали *T*, що забезпечує врахування динаміки ІАЗ, аналіз поточного стану системи, а також передбачення майбутніх станів системи за умови реалізації певних управлінських рішень.

Сукупність усіх можливих і допустимих конфігурацій об'єктів, відношень і значень аналітичних показників визначається у системі завдяки використанню множини станів *S*, що обмежує поведінку системи лише конкретними, логічно узгодженими та припустимими з погляду процесів ІАЗ.

Логіко-предикатна модель процесу ІАЗ ОВУ, що функціонує на основі логічного виведення, може забезпечити цілісне подання знань про такі системи та створює основу для автоматизованої підтримки прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Для подальшої деталізації моделі та конкретизації предметної області доцільно розглянути склад і семантику множини *D*, яка буде визначати домени предметної області ІАЗ та формувати основу для побудови предикатів, функцій та

правил логічного виведення, де кожен домен відображає окремий аспект діяльності органів військового управління:

$$D = \{D_p, D_u, D_m, D_r, D_t, D_{th}\}, (2)$$

де D_p – множина підрозділів, які залучаються до виконання завдань ІАЗ: дані цього домену дають змогу оцінювати та аналізувати спроможність виконання завдань ІАЗ;

D_u – множина структурних підрозділів ІАЗ, що входять до складу ОВУ та як вони взаємодіють під час виконання завдань. Моделює ієрархію підрозділів, їх підпорядкованість, склад, функціональне призначення та взаємодію між собою. Поєднання доменів D_p і D_u забезпечує формалізований опис структури процесу ІАЗ;

D_m – завдання, які покладені на ОВУ, описуються як формалізований об'єкт, який пов'язаний із конкретними підрозділами, часовими обмеженнями, просторовими параметрами та інформаційними потребами. Це дає змогу відстежувати хід виконання завдань на всіх етапах процесу ІАЗ, а також своєчасно коригувати залежно від отриманих результатів.

D_r – множина інформаційних ресурсів, які потрібні для виконання завдань ІАЗ, використовується для аналізу наявності, розподілу та витрат інформаційних ресурсів, а також для прогнозування їх дефіциту або надлишку. Поєднання доменів D_r , D_m , D_u дає змогу здійснювати ресурсно-орієнтоване планування та оцінювати

реалістичність виконання завдань ІАЗ;

D_t – множина часових інтервалів, планування етапів виконання завдань ІАЗ та аналіз змін стану військ (сил), що дає змогу аналізувати події в часовому розрізі, відстежувати зміни стану військ (сил), а також здійснювати прогнозування розвитку обстановки. Завдяки цьому рішення приймаються з урахуванням не лише поточного стану, а й можливих майбутніх сценаріїв;

D_{th} – множини загроз, які можуть вплинути на виконання завдань ІАЗ (кібератаки тощо). Це дає змогу системі виконувати аналіз ризиків, оцінювати рівень небезпеки, виявляти критичні фактори впливу та формувати рекомендації щодо нейтралізації або мінімізації кіберзагроз.

Таким чином наведені у виразі (2) домени забезпечують структуроване та семантично узгоджене подання структурних елементів системи, що використовуються у логіко-предикатній моделі процесу ІАЗ ОВУ, створюючи основу для побудови предикатів, аналітичних функцій та правил прийняття управлінських рішень.

Для формалізації відношень між елементами системи визначаються предикати, що характеризують елементи, їх організаційну структуру та процес ІАЗ в цілому. Структурні предикати формують фундамент моделі, забезпечуючи чітке визначення належності об'єктів процесу ІАЗ ОВУ та їхні взаємозв'язки (Табл. 1).

Таблиця 1

Структурні предикати процесу ІАЗ ОВУ

Предикат	Формальний тип	Зміст
Управління (p)	D_p	Існує такий об'єкт p , який є інформаційним продуктом управління
Підрозділ (u)	D_u	u – інформаційно-аналітичний підрозділ ОВУ.
Завдання (m)	D_m	Існує такий елемент (об'єкт) m є конкретним завданням або сукупністю завдань
Ресурс (r)	D_r	Існує такий елемент (об'єкт) що має ресурс r
Призначення (p, u)	$D_p \times D_u$	Інформаційний продукт p закріплений за підрозділом u
Має штат (p, k)	$D_p \times Rank$	Об'єкт p (продукт або посада) має відповідний рівень (штатний ранг) k
Підрозділ, ресурс (u, r)	$D_u \times D_r$	інформаційно-аналітичний підрозділ u володіє інформаційним ресурсом r

На основі визначених доменів формується структурно-функціональні, процесні предикати процесу ІАЗ ОВУ, які

забезпечують формалізацію процесів ІАЗ в ОВУ, що наведено у Табл. 2.

Предикатний опис функцій процесу ІАЗ ОВУ

№	Функція	Предикат	Формальний вид предиката	Тип предиката	Зрозумілий зміст (семантика)
1	Збір інформації	Джерело (S)	S	Структурний	S є джерело отримання інформації
		Отримано ($u, S, d_s,$)	$O(u, S, d_s,$)	Структурний	вхідні дані d_s отримано від джерела S підрозділом u
		Накопичення даних ($u, d_i,$)	$ND(u, d_i,$)	Структурний	підрозділом u , здійснює накопичення зібраних даних d_i
		Передача даних (u, d_i, x)	$P(u, d_i, x)$	Структурний, взаємодії	підрозділом u передаються зібрані дані d_i для користувача x
2	Обробка інформації	Оброблення даних (u, d_i)	$Ob(u, d_i)$	Функціональний	підрозділом u , здійснюється оброблення даних d_i
		Достовірність даних (u, d_i)	$Dd(u, d_i)$	Структурно-функціональний	зібрані дані d_i перевіряються на достовірність підрозділом u
		Видалення помилок (u, d_i)	$Vp(u, d_i)$	Структурно-функціональний	Із даних d_i видалено помилки, та зайву інформацію підрозділом u
		Збереження (d_i, DB)	$Zb(d_i, DB)$	Функціональний	дані d_i зберігаються у базі даних DB
		Оновлення (DB)	$On(DB)$	Функціональний	оновлення бази даних DB відповідно до вхідних, оброблених або перевірених даних
3	Аналіз інформації	Виявлення проблем ($u, БД, Q_z$)	$Pb(u, DB, Q_z)$	Структурно-функціональний	під час аналізу DB підрозділом u була виявлено проблеми Q_z
		Приоритетність вирішення (u, q_z)	$Pr(u, q_z)$	Структурно-функціональний	підрозділом u визначив пріоритет вирішення проблеми q_z
		Сценарій (u, s_z)	$Sc(u, s_z)$	Структурно-функціональний	підрозділом u , розроблено варіанти сценарію s_z
4	Прогнозування	Вибір моделі (u, DB, s_z)	$Pz(u, DB, s_z)$	Структурно-процесний	підрозділом u , здійснюється прогноз розвитку сценарію s_z з використанням DB
		Моделювання (u, s_z, DB)	$M(u, s_z, DB)$	Структурно-процесний	підрозділом u , здійснюється моделювання сценарію s_z з використанням DB
		Очікуваний результат (u, s_z, DB, r)	$Rez(u, s_z, DB, r)$	Структурно-процесний	підрозділом u , очікує результат r за сценарієм s_z на основі бази даних DB
		Імовірність здійснення прогнозу (u, r, p)	$Oz(u, r, p)$	Структурно-процесний	підрозділом u , оцінив результат r з імовірністю p
		Рішення (u, R)	$Risch(u, R)$	Структурний	підрозділом u , опрацьовано рішення R
5	Доведення інформації	Передає (u, R, x)	$PD(u, R, x)$	Структурний	підрозділ u , передає опрацьоване рішення R до споживача x
		Отримання (x, R)	$Otr(x, R)$	Структурний	споживач x отримує опрацьоване рішення R
		Підтвердження (x, R, u)	$Pid(x, R, u)$	Структурно-процесний, взаємодії	споживач x отримує опрацьоване рішення R від підрозділу u .
		Доступ (x, R)	$Dst(x, R)$	Структурний	споживач x надає доступ до опрацьованого рішення R

Структурно-функціональні предикати визначають основні функції системи, зокрема збір, обробку, аналіз, прогнозування та доведення інформації, встановлюючи логічний зв'язок між структурними підрозділами та завданнями інформаційно-аналітичного забезпечення. Запропонована система предикатів формалізує структуру,

функціонування та взаємодію елементів процесів ІАЗ ОВУ у межах єдиного логіко-предикатного простору. Запропоновані предикати виконують роль семантичного ядра моделі, оскільки саме через неї формальні символи формалізованої моделі мають отримати змістовну інтерпретацію в предметній області інформаційно-аналітичного забезпечення.

Структурні предикати описують склад і організаційну побудову процесу ІАЗ ОВУ, задають множину підрозділів ІАЗ, які є елементами процесу ІАЗ ОВУ, та відображають їх належність до відповідних рівнів управління (стратегічного, оперативного, тактичного). Предикати описують факт існування інформаційно-аналітичного підрозділу як елемента системи, а також його місце в ієрархії ОВУ СР. Завдяки цьому формалізується не просто перелік підрозділів, а сама структура процесу ІАЗ, зокрема підпорядкованість і розподіл відповідальності між виконавцями.

Функціональні предикати описують функції процесу ІАЗ ОВУ, що реалізуються системою та відображають здатність підрозділів ІАЗ здійснювати збір, оброблення, аналіз, узагальнення, а також надання інформації відповідно до свого рівня управління. У семантичному вимірі ці предикати фіксують, що процес ІАЗ ОВУ не є пасивним сховищем даних, а виступає активним функціональним механізмом, орієнтованим на ІАЗ та підтримку управлінських процесів.

Предикати взаємодії формалізують інформаційні та функціональні зв'язки між підрозділами різних рівнів. Вони описують процеси передачі даних, аналітичних матеріалів, звітів та узагальнених оцінок між елементами процесу ІАЗ. Змістовно ці предикати відображають принцип системності та узгодженості, відповідно до якого інформаційно-аналітичні підрозділи функціонують не ізольовано, а в межах єдиного інформаційного простору ОВУ.

Окреме місце займають *часові предикати*, що враховують динаміку функціонування процесу ІАЗ ОВУ. Вони задають часові інтервали виконання функцій, актуальність даних та зміну станів системи. Семантично це означає, що модель відображає не статичний зріз системи, а її поведінку в часі, що є критично важливим для аналізу обстановки та прогнозування розвитку подій.

У сукупності всі предикати Табл. 2 забезпечують однозначну інтерпретацію

процесу ІАЗ ОВУ, що:

має визначений склад інформаційно-аналітичних підрозділів;
 організована за ієрархічним принципом відповідно до рівнів управління;
 реалізує сукупність функцій інформаційно-аналітичного забезпечення;
 забезпечує узгоджену взаємодію між підрозділами;
 функціонує в умовах часової мінливості обстановки.

Таким чином, наведений у Табл. 2 предикатний опис виконує роль містка між формальною логічною моделлю та її змістовним військово-управлінським трактуванням, що забезпечує цілісне, несуперечливе та масштабоване подання процесу ІАЗ ОВУ як складної системи типу *system of systems* [8].

Суб'єктами ІАЗ є структурні підрозділи ОВУ, що реалізують процес ІАЗ, який передбачає збір, обробку та аналіз інформації для прогнозування та підготовки рекомендацій об'єктам ІАЗ [9]. Для цього окремо розглянемо підпроцеси: збору, обробки та аналіз інформації для прогнозування та підготовки (доведення) рекомендацій.

Логіко-предикатна формула підпроцесу збору інформації. Підпроцес збору інформації передбачає, що для будь-якого підрозділу ІАЗ (u) і дії (a_1) – збору даних за умови існування джерела (S), вхідних даних (d_s), та передачі конкретному користувачу (x) виконується функція ІАЗ збору інформації. З урахуванням зазначеного, підпроцес збору інформації доцільно подати у логіко-предикатному вигляді:

$$\forall u, a_1 \exists S, d_s, x: O(u, S, d_s) \wedge ND(u, d_i) \wedge \wedge P(u, d_i, x) \rightarrow \text{Збір інформації}(u, a_1, d_s, d_i, x), \quad (3)$$

де a_1 – дія збору інформації;

d_s – вхідні дані від джерела S ;

d_i – зібрані дані від d_s ;

x – користувач зібраних даних.

Отже, вираз (3) формалізує первинний етап ІАЗ, що визначає підрозділ збору, джерела даних, отриманні дані, споживача зібраної інформації, та формує основу для подальших процедур обробки, аналізу та прогнозування.

Логіко-предикатна формула підпроцесу обробки інформації. Підпроцес обробки інформації передбачає, що для будь-якого підрозділу ІАЗ (u) і дії (a_2) – обробки інформації за умови існування вхідних даних (d_i) виконується обробка інформації. З

урахуванням зазначеного, підпроцес обробки інформації доцільно подати у логіко-

$$\forall u, a_2 \exists d_i: Ob(u, d_i) \wedge Dd(u, d_i) \wedge \forall p(u, d_i) \wedge Zb(d_i, DB) \wedge On(DB) \rightarrow \rightarrow \text{обробка інформації } (u, a_2, d_i, DB), \quad (4)$$

де a_2 – дія обробки інформації;

DB – база даних;

d_p – оброблені та структуровані дані.

Отже, вираз (4) забезпечує формалізований опис ІАЗ, пов'язаного з обробкою даних, визначає суб'єкта обробки вхідних даних та їх структурування, враховує їх перевірку на достовірність, видаляє помилки та забезпечує зберігання і оновлення у базі даних, що формує основу для

$$\forall u, a_3 \exists BD: Pb(u, BD, Q_z) \wedge Pr(u, q_z) \wedge Sc(u, q_z, s_z) \rightarrow \text{Аналіз Інформації } (u, a_3, BD, q_z, s_z), \quad (5)$$

де a_3 – дія аналізу інформації;

q_z – ключова проблема;

s_z – розроблений сценарій вирішення проблеми Q_z .

Отже, вираз (5) формалізує підпроцес аналізу інформації, з урахуванням того, що підрозділ ІАЗ не тільки обробляє інформацію, а здійснює її глибоке логічне вивчення, аналізує основні проблеми, визначає пріоритетність їх вирішення та формує сценарій подальших дій, що є основою для

$$\forall u, a_4 \exists s_z: Pz(u, DB, s_z) \wedge M(u, s_z, DB) \wedge Rez(u, r) \wedge \wedge Oz(u, r, p) \wedge Risch(u, p, R) \rightarrow \text{Прогнозування } (u, a_4, s_z, DB, r, p, R), \quad (6)$$

де a_4 – дія прогнозування;

r – результат отриманий у процесі моделювання;

p – оцінка результату у процесі моделювання ($0 \leq p \leq 1$);

R – сформований варіант прогнозу (рішення).

Отже, вираз (6) формалізує підпроцес прогнозування як логічний і детермінований, що спирається на попередні етапи збору, обробки та аналізу інформації, має часову орієнтацію, враховує моделі прогнозування і завершується формуванням прогнозу R для підтримки прийняття управлінських рішень.

$$\forall u, a_5 \exists R: PD(u, R, X_x) \wedge Otr(X_x, R) \wedge Pid(X_x, R, u) \wedge \wedge Dst(X_x, R) \rightarrow \text{доведення інформації } (u, a_5, R, X_x), \quad (7)$$

де a_5 – дія доведення результатів;

X_x – споживач отриманих результатів.

Отже, вираз (7) формалізує підпроцес доведення та показує, що інформація, яку виробив підрозділ ІАЗ, надійшла до

$$\forall u, \exists a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, S, d_i, DB, R, t, \Delta t : (u, a_1, d_s, d_i, x) \wedge (u, a_2, d_i, DB) \wedge (u, a_3, DB, q_z, s_z) \wedge (u, a_4, s_z, DB, r, p, R) \wedge \wedge (u, a_5, R, X_x) \rightarrow \text{інформаційно -аналітичне забезпечення } (u, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, d_s, d_i, x, DB, q_z, s_z, r, p, R, X_x), \quad (8)$$

предикатному вигляді:

подальшого аналізу інформації.

Логіко-предикатна формула під процесу аналізу інформації. Підпроцес аналізу інформації передбачає, що для будь-якого підрозділу ІАЗ (u) і дії (a_3) – аналізу інформації за умови існування БД виконується функція ІАЗ аналізу інформації. З урахуванням зазначеного, підпроцес аналізу інформації доцільно подати у логіко-предикатному вигляді:

Логіко-предикатна формула під процесу прогнозування. Підпроцес прогнозування

результатів вирішення проблем передбачає, що для будь-якого підрозділу ІАЗ (u) і дії (a_4) – прогнозування за умови існування сценарію виконується прогнозування сценарію вирішення проблем. З урахуванням зазначеного, під процесу прогнозування сценарію вирішення проблем доцільно подати у логіко-предикатному вигляді:

Логіко-предикатна формула під процесу доведення (рекомендацій) інформації. Будь-який інформаційно-аналітичний продукт має не просто створюється, а обов'язково проходити формалізований процес доведення до конкретного споживача інформації.

Підпроцес доведення передбачає, що для будь-якого підрозділу ІАЗ (u) і дії (a_5) – доведення (рекомендацій) інформації, за умови існування сформованого варіанту прогнозу (рішення) R . З урахуванням зазначеного, під процес доведення (рекомендацій) інформації можна подати такою логіко-предикатною формулою:

конкретного споживача.

На підставі (3)–(7) доцільно навести узагальнений логіко-предикатний вираз, що враховує розглянуті підпроцеси збору, обробки, аналізу, прогнозування і доведення:

де t – час виконання конкретного завдання;

Δt – тривалість виконання конкретного завдання.

Отже, вираз (8) формалізує логіко-предикатну модель процесу інформаційно-аналітичного забезпечення органів військового управління, що є ієрархічно організованим, функціонально пов'язаним та часове детермінованим та забезпечує виконання завдань органами військового управління та сприяє ухваленню управлінських рішень на всіх рівнях військового управління.

Логіко-предикатна формула процесу управління інформаційно-аналітичним забезпеченням.

$$\begin{aligned} & \forall O_{\text{ову}} \exists m \in D_m \exists U = \{J_1 \dots J_n\} \exists U^* \in U \exists X \exists F_d \in \{D_{fo}\}, t, \Delta t: \\ & \text{Керує } (O_{\text{ову}}, U) \wedge \text{Завдання } (O_{\text{ову}}, m, U) \wedge \text{Головний виконавець } (O_{\text{ову}}, X) \wedge \\ & \wedge \left(\bigvee_{J_i} J_i \in U \rightarrow \text{Збір інформації } (J_i, a_1, d_j, d_i, X) \wedge \text{обробка інформації } (J_i, d_2, d_i, DB) \wedge \right. \\ & \quad \wedge \text{Аналіз інформації } (J_i, d_3, DB, q_z, S_z) \wedge \text{прогнозування } (J_i, d_4, Model, r, p, R_i) \wedge \\ & \quad \wedge \text{Доведення } (J_i, d_s, R_i, X) \wedge \text{Визначення підрозділу узагальнення } (O_{\text{ову}}, R_i, U^*) \wedge \\ & \quad \wedge \text{Узагальнення } (U^*, \{R_1 \dots R_n\} R \wedge \text{Доведення } (R, X, D_{fd}) \rightarrow \\ & \quad \rightarrow \text{Управління ІАЗ } (O_{\text{ову}}, U, m, x, D_{fd}, t, \Delta t), \end{aligned} \quad (9)$$

де $O_{\text{ову}}$ – орган військового управління;

$m \in D_m$ – завдання;

D_{fo} – визначена форма доведення завдання;

$U = \{J_1 \dots J_n\}$ – підпорядковані підрозділи ОВУ;

U^* – підрозділ узагальнення інформації;

X – головний виконавець;

$t, \Delta t$ – час.

Отже, вираз (9) формалізує опис процесу управління інформаційно-аналітичним забезпеченням, що дозволяє підвищити обґрунтованість побудови архітектури системи інформаційно-аналітичного забезпечення, забезпечити узгодженість елементів системи, створити основу для подальшої автоматизації й оптимізації процесів в умовах сьогодення.

Висновки. Розроблена логіко-предикатна модель процесу ІАЗ забезпечує перехід від інтуїтивного опису діяльності органів військового управління до строгої математичної інтерпретації. Вона дає змогу визначити структуру взаємодії між підрозділами та інформаційними ресурсами, що створює основу для формалізованого контролю обґрунтованості даних, встановлення пріоритетності вирішення проблем та розроблення відповідних сценаріїв їх усунення.

Використання апарату логіки предикатів

Для кожного органу військового управління $O_{\text{ову}}$ існує множина завдань m , множина підрозділів $U = \{J_1 \dots J_n\}$, визначений головний виконавець X , інформаційні ресурси та часові параметри такі, що орган управління керує підрозділами, ставить їм завдання, визначає головного виконавця, а підрозділи виконують послідовність процесів: збір, обробку, аналіз, прогнозування та доведення інформації або здійснюється узагальнення результатів, що в підсумку забезпечує процес управління інформаційно-аналітичним забезпеченням, яку можна подати такою логіко-предикатною формулою:

першого порядку дає змогу логічно узгодити інформаційне середовище, визначити структуру взаємодії між підрозділами та інформаційними ресурсами, забезпечити перевірку результатів процесу ІАЗ і створити надійне підґрунтя для побудови цілісної перспективної системи ІАЗ ОВУ на всіх рівнях військового управління (стратегічний, оперативний, тактичний), що на практиці реалізується через алгоритми, програмні модулі та бази даних і забезпечує виконання завдань ОВУ та підтримку прийняття управлінських рішень на всіх рівнях військового управління.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення методики побудови архітектури СІАЗ ОВУ на основі запропонованої логіко-предикатної моделі. Такий підхід дасть змогу визначити ключові компоненти системи, описати функціональні можливості її підсистем, формалізувати інформаційні потоки між структурними елементами, а також встановити правила взаємодії між підрозділами та ресурсами. Реалізація зазначеної методики сприятиме формуванню цілісної та узгодженої архітектури СІАЗ, що забезпечить узгоджене представлення та інтеграцію процесів інформаційно-аналітичного забезпечення на стратегічному, оперативному та тактичному рівнях військового управління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Безущак О., Ганюшкін О. Математична логіка : навч. посіб. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2023. 143 с.
2. Вечірська І. Д., Гончаров І. Е., Шепілов С. І. Дослідження логіки скінченних предикатів як композиційно-номінативної логіки // Біоніка інтелекту. 2014. № 2 (83). С. 53–60.
3. Волосяк Ю. В. Використання нечітких предикатів і кванторів в матричному представленні при моделюванні інформаційного ресурсу // Проблеми інформаційних технологій. 2014. № 16.
4. Гулівата І. О., Ніколіна І. І. Роль логіки у математиці та формуванні конкурентоспроможного фахівця // Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. Вінниця, 2020. Вип. 57. С. 86–92. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-57-86-92>.
5. Козирев А., Шубін І. Метод лінійно-логічних операторів та логічних рівнянь у завданнях видобування інформації // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1 (27). С. 81–95. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2024.27.081>.
6. Мартинюк І., Стаднічук О., Петрухін С. Алгебра предикатів як основа логістично-інформаційних моделей у системі підтримки прийняття рішень логістичного забезпечення // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: Військові та технічні науки. 2021. № 1 (84). С. 221–239. DOI: <https://doi.org/10.32453/3.v84i1.812>.
7. Нікітченко М. С., Шкільняк С. С. Інтенціонально-орієнтований підхід до побудови логічних систем // Проблеми програмування. 2007. № 2. С. 15–40.
8. Порохня І. М., Дайнега О. В. Модель побудови архітектури системи інформаційно-аналітичного забезпечення на основі DoDAF 2.0. // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. 2026. № 1 (55). С. 190–198. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2026-55-1-190-198>.
9. Порохня І. М., Кінь Н. В. Система інформаційно-аналітичного забезпечення органів військового управління: ієрархічна структура та проблеми функціонування // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. 2025. № 3 (54). С. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2025-54-3-84-92>.
10. Нікітченко М. С., Шкільняк С. С., Омельчук Л. Л. Логіки, орієнтовані на специфікації програм // Проблеми програмування. 2006. № 2–3 (спецвипуск). С. 18–24.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2026

Logical-predicate model of the process of information and analytical support of military command bodies

Annotation

The article presents a detailed logical-predicate model of information and analytical support for strategic-level military command bodies, which is aimed at formalizing the structure of the subject area, organizational and functional processes of information and analytical support based on clearly defined domains, sets of entities, predicates, analytical functions, and mechanisms of formal logical inference. The proposed approach is based on the use of first-order predicate logic to construct a formalized ontological model, within which the key elements of the system, its functions, activities, information flows, resources, time parameters, information products, and the relationships between them are systematized. Such formalization allows moving from an intuitive or descriptive representation of the activities of military management bodies to a strict mathematical interpretation of processes, which provides the possibility of their logical analysis, structural decomposition, and algorithmization.

The proposed logical-predicate model is oriented towards integration into the architecture of complex multi-level systems of the system of systems type, in which heterogeneous information, organizational, and technical subsystems interact.

A formal description of the subject area ensures semantic compatibility of data, unification of information exchanges, and standardization of functional requirements for system components. This creates the prerequisites for building intelligent decision support systems capable of performing automated logical inference, identifying contradictions, generating alternative courses of action, and evaluating their consequences. Such a model contributes to improving the effectiveness of information and analytical support between military command bodies and strengthening the system's adaptability to the rapidly changing conditions of the modern information environment.

Keywords: logic-predicate model; information and analytical support; information and analytical support system; strategic-level military command body, predicate logic; dynamic systems; intelligent systems; decision optimization, system of systems.