

О.Є. Стрижак¹, Г.М. Потапов¹, М.П. Сень¹, В.В. Приходнюк², В.В. Горбурков²

¹Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

²Національний центр “Мала академія наук України”, Київ

МЕТОДИКА АНАЛІЗУ СПРОМОЖНОСТЕЙ ПІДРОЗДІЛІВ АВІАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СИЛ НА ЗАСАДАХ ОНТОЛОГІЧНОГО ІНЖИНІРИНГУ

У статті розглянуто ефективний інструмент досліджень спроможностей військових формувань Збройних Сил – методика аналізу спроможностей підрозділів авіації Повітряних Сил (ПС) на засадах онтологічного інжинірингу. Оцінювання спроможностей при цьому може проводитись за результатами моніторингу показників стану військового формування. Моніторинг може проводитись постійно або за періодами планування. Особливістю цього процесу є динамічне зміння за часом стану. На це впливає сукупність факторів, одним з важливих на сьогодні є участь авіації ПС у відбитті збройної агресії рф. В основу методики покладено основи онтологічного інжинірингу. Використання онтологічного інжинірингу дозволить ефективно обробляти великі обсяги неструктурованої інформації та звітних документів щодо багатьох показників, у тому числі стану ОВТ, які надходять з військових частин (підрозділів) розгорнутих угруповань військ (сил) під час ведення бойових дій. Розроблена методика дозволяє проводити аналіз, вибір та структурування інформаційних ресурсів як структурованого, так і неструктурованого типу. Також розроблена методика може використовуватися під час аналізу інформаційних процесів за іншими напрямками розвитку ОВТ і є ефективним інструментом підтримки прийняття управлінських рішень.

Ключові слова: консолідація інформаційних ресурсів, когнітивна інформаційна технологія, озброєння та військова техніка, онтологічний інжиніринг, трансдисциплінарність, спеціальне програмне забезпечення.

Вступ

Постановка проблеми. Сили оборони України як сукупність військових формувань, правоохоронних та розвідувальних органів, органів спеціального призначення з правоохоронними функціями, на які покладено функції із забезпечення оборони держави і які призначені для стримування агресії, захисту суверенітету і територіальної цілісності України та забезпечення національної безпеки, мають розвиватися відповідно до прогнозованих викликів та загроз [1...4].

У ході ведення збройної боротьби, що характеризується широким застосуванням високотехнологічних засобів ураження військ та об'єктів на території України, провідна роль залишається за авіацією ПС.

Військові частини (підрозділи) ПС виконують широкий спектр завдань – від протиповітряної оборони до нанесення високоточних ударів, розвідки, логістичного забезпечення та евакуації. У зв'язку з цим виникає потреба у системному аналізі спроможностей військових формувань ПС для планування їх застосування та подальшого розвитку.

Такий аналіз дозволяє не лише оцінити поточний стан бойової готовності, а й виявити критичні невідповідності, визначити пріоритети модернізації, оптимізувати розподіл ресурсів та забезпечити ефективне планування операцій. Результати аналізу є основою прийняття обґрунтованих рішень на стратегічному, оперативному та тактичному рівнях. Особливої актуальності результати аналізу набувають в умовах обмежених ресурсів, коли необхідно досягати максимальної ефективності за мінімальних витрат. Крім того, врахування динаміки змін у характері загроз, розвитку засобів повітряного нападу противника та протидії ним, вимагає постійного оновлення даних про спроможності військових частин (підрозділів).

При цьому, аналіз спроможностей військових частин (підрозділів) авіації ПС є не лише інструментом оцінки, а й важливим елементом адаптації до нових викликів, підвищення стійкості оборони. Результати аналізу спроможностей з урахуванням обмежувальних факторів вказують на актуальність питання створення дієвого інструментарію для ефективного накопичення і оброблення системи знань, що використовуються. Одним з підходів може бути онтологічний

інжиніринг, що дозволяє формалізувати складні предметні галузі, такі, як спроможності, в наочній формі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз публікацій [5...9] свідчить, що питанням створення інтелектуальних аналітичних інструментів щодо вирішення проблем розвитку спроможностей ПС приділяється значна увага, але досвід практичного впровадження зазначених інструментів для підвищення обґрунтованості управлінських рішень, підводить до висновку, що теоретичних розробок у цій сфері недостатньо. Вирішення проблем, які виникають під час аналізу спроможностей військових формувань авіації ПС для обґрунтування напрямів їх розвитку, пропонується через розроблення та вдосконалення відповідних методів, методик та алгоритмів, а також інших інтелектуальних аналітичних інструментів.

Важливим чинником розвитку інтелектуальних аналітичних інструментів є наявність трансдисциплінарно пов'язаних процесів оброблення, зберігання, розповсюдження та використання великих обсягів інформації й знань у вигляді неструктурованих документів [10...14]. Це формує нові вимоги до аналітичних систем, які мають не лише накопичувати та обробляти дані, а й здійснювати глибокий аналіз знань для підтримки науково обґрунтованих управлінських рішень.

Мета статті – розроблення методики аналізу спроможностей підрозділів авіації ПС на засадах онтологічного інжинірингу.

Для досягнення зазначеної мети вирішено низку завдань, а саме: обрано фрагмент спроможностей для підрозділів тактичної авіації, із використанням елементів онтологічного інжинірингу проведено формалізацію вимог до спроможностей, із використанням онтологічного представлення об'єктів визначено порядок їх аналізу та надані рекомендації щодо аналізу спроможностей.

Виклад основного матеріалу

Більшість сучасних систем залишаються на рівні традиційної обробки даних (data-driven systems), не досягаючи рівня знаннево-орієнтованих когнітивних систем. Значна частина інформації у сучасних організаціях існує у вигляді текстів, звітів, документів, експертних висновків. Такі джерела містять цінні знання, однак, через різноманітність структур, відсутність узгодженої термінології та неоднорідність семантики їх складно інтегрувати у єдине інформаційне поле, що призводить до інформаційних бар'єрів і зниження якості аналітичних висновків.

Крім того, аналітичні процеси часто фрагментовані:

кожен інструмент працює у межах власної логіки;

міждисциплінарна інтеграція знань ускладнена;

алгоритми не враховують контекст і семантичні зв'язки між поняттями.

Трансдисциплінарність сучасних аналітичних завдань (економічних, організаційних, технологічних тощо) передбачає використання різних джерел інформації – статистичних баз, нормативних актів, досліджень, експертних оцінок, звітів. Різна структура та термінологія цих джерел породжує проблему інтероперабельності – неможливості об'єднання даних у спільному аналітичному середовищі. Традиційні інформаційні системи не враховують семантику даних спроможностей ПС, тому не здатні ефективно інтегрувати розрізнену інформацію.

Для подолання цих обмежень (рис. 1) необхідний уніфікований семантичний каркас, який забезпечує зв'язування понять, визначення відношень між ними та контекстну інтерпретацію. Цю функцію виконує онтологічна модель, що формалізує структуру предметної галузі, узгоджує міждисциплінарні знання та створює єдину семантичну основу для аналізу.

Більшість сучасних аналітичних рішень, які використовуються для аналізу спроможностей, є пасивними системами знань, що дозволяють лише агрегувати, фільтрувати або візуалізувати інформаційні процеси. Натомість когнітивні системи, побудовані на базі онтологій, є натуральними системами, які здатні оперувати знаннями, враховувати контекст, формувати нові висновки й забезпечувати ефективну підтримку рішень. Їх онтологічне ядро:

- формалізує знання про предметну галузь;
- забезпечує логічну узгодженість між даними, поняттями та методами аналізу;
- підтримує адаптацію при зміні структури даних чи правил;
- створює можливість побудови когнітивних сервісів, які враховують контекст.

Перехід до онтологізованих когнітивних систем для аналізу спроможностей ПС дозволяє:

- інтерпретувати неструктуровані знання у логічно узгодженій формі;
- використовувати семантичне виведення для формування нових знань;
- підвищувати обґрунтованість аналітичних висновків через інтеграцію знань і розрахунків.

Отже, головна проблема полягає в обмеженості традиційних інформаційних систем, які залишаються статичними й вузькоспеціалізованими.

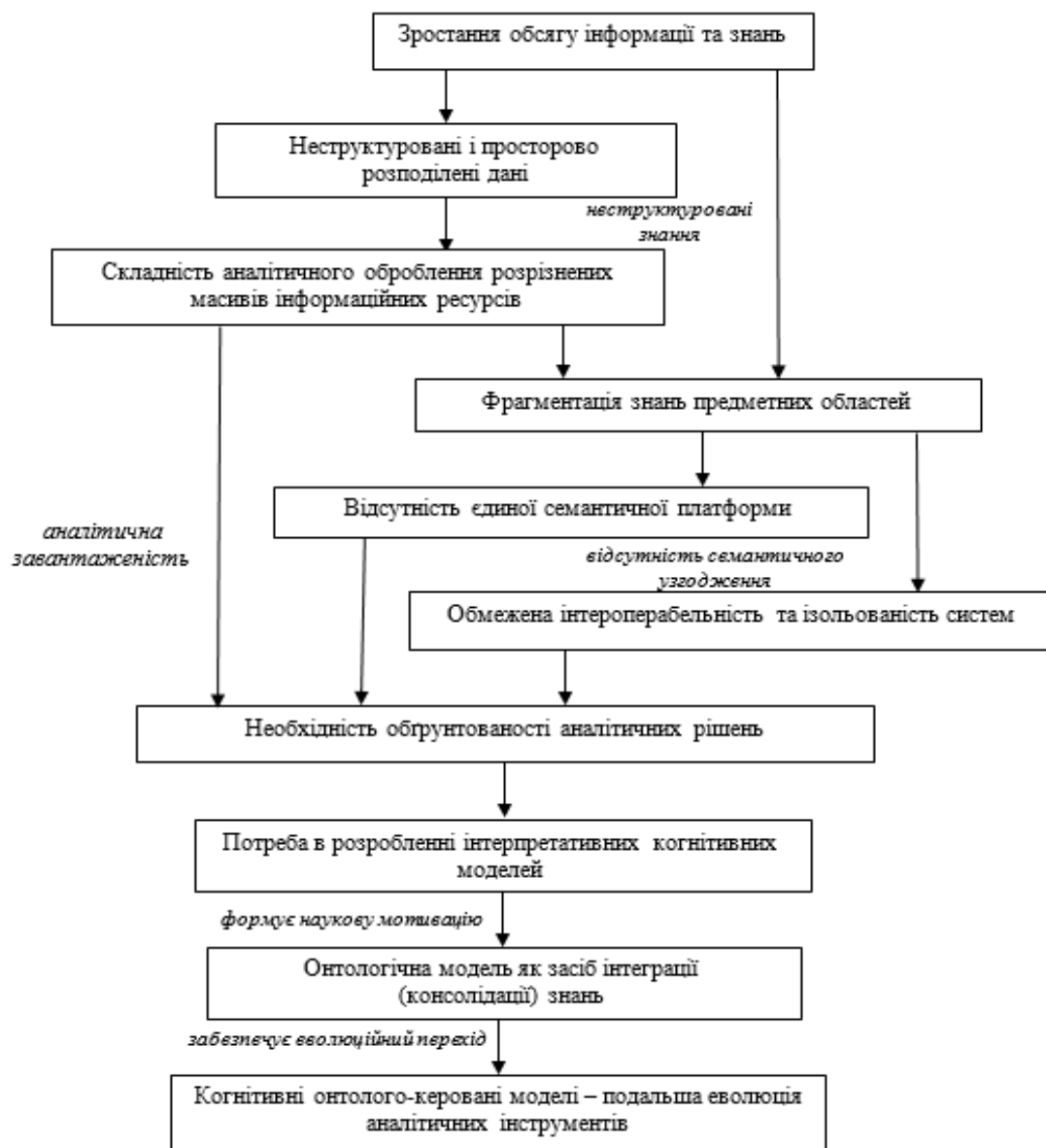


Рис. 1. Потреба у створенні та розгортанні аналітичних інструментів на базі когнітивних онтолого-керованих технологій
Джерело: розроблено авторами

Тому постає потреба у створенні інтелектуальних аналітичних інструментів, здатних інтегрувати міждисциплінарні знання, підтримувати когнітивні процеси й здійснювати розрахунки на основі формалізованих онтологій.

Для аналізу спроможностей пропонується створення когнітивної програмної інфраструктури, яка має включати три ключові складові:

- онтологічне ядро – семантичний центр системи, що забезпечує структуризацію та узгодження знань;
- онтологічну інженерію – методологію представлення, збагачення та гармонізації знань;
- когнітивні сервіси – інструменти адаптивного застосування аналітичних методик залежно від контексту. Таким чином, актуальність проблеми аналізу спроможностей ПС визначається

необхідністю розроблення когнітивно-орієнтованих аналітичних систем, здатних:

- формалізувати знання щодо показників оцінювання спроможностей підрозділів і частин авіації з різних галузей у єдиному семантичному просторі;
- інтегрувати аналітичні методики в онтологічно описане середовище;
- забезпечувати когнітивну підтримку аналізу та прийняття рішень;
- адаптуватися до змін у даних, методиках і структурі знань.

Усі ці вимоги реалізуються через застосування онтологічного підходу та інженерії онтологій, які формують методологічну основу для побудови когнітивних онтологокерованих аналітичних систем нового покоління.

Онтологічний підхід є сучасною методологічною парадигмою представлення й організації знань, що ґрунтується на концептуалізації – побудові абстрактного опису певної предметної області через систему взаємопов'язаних понять, відношень і правил. Його сутність полягає у переході від оперування даними

до оперування смисловими контекстами, значеннями та логічними зв'язками між елементами знань. Такий підхід забезпечує не лише структуроване подання знань, а й їх інтеграцію, інтерпретацію та подальше когнітивне використання (рис. 2).

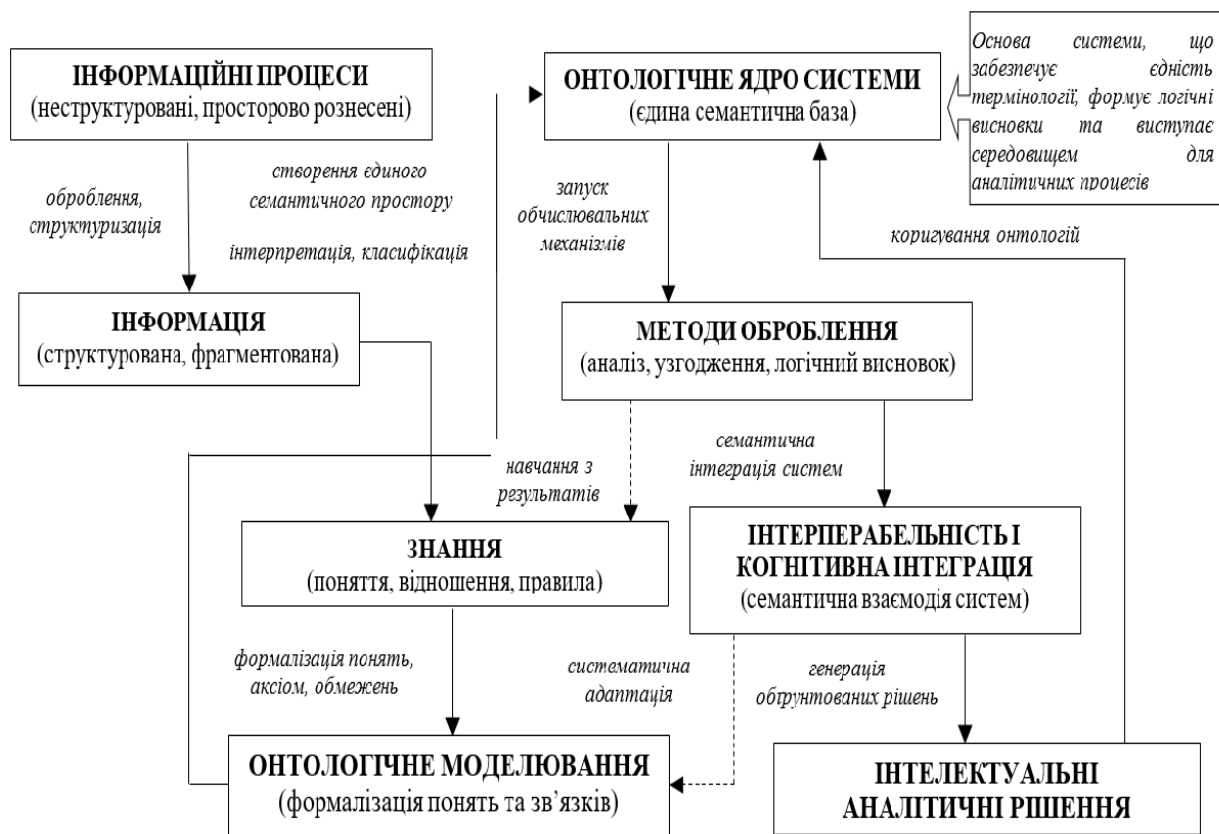


Рис. 2. Концепція онтологічного підходу до представлення та управління знаннями
Джерело: розроблено авторами

Онтологічна модель у межах цього підходу має багаторівневу структуру, що включає концепти, властивості, відношення, аксіоми та екземпляри. Вона створює формалізоване середовище, у якому знання можуть бути не лише описані, а й логічно виведені, перевірені і розширені на основі нових зв'язків. Особливістю онтологічного підходу є здатність забезпечувати єдність семантичного простору в умовах міждисциплінарної взаємодії. Він уніфікує термінологію, стандартизує опис понять і забезпечує спільний семантичний простір для обміну знаннями між різними системами, організаціями чи науковими дисциплінами. Така семантична узгодженість є необхідною умовою ефективного управління знаннями у великих інформаційних та корпоративних структурах, де важливо підтримувати послідовність і точність у трактуванні понять.

Порівняно з традиційними моделями представлення знань, онтологічний підхід забезпечує вищий рівень формальності, узгодженості й гнучкості, ніж інші підходи щодо представлення знань. У сфері управління знаннями онтологічний підхід виконує функцію метамоделі, що визначає принципи організації, зберігання та використання інформації. Його формалізована термінологічна база забезпечує семантичну прозорість процесів та можливість забезпечення підтримки когнітивної взаємодії між користувачами та інтелектуальними системами. У такому контексті знання розглядаються не як статичний ресурс, а як динамічна сутність, що постійно уточнюється, узагальнюється та взаємодіє з іншими елементами інформаційного середовища.

Завдяки своїй універсальності онтологічний підхід став методологічною основою сучасних

систем штучного інтелекту, зокрема, у сферах обробки природної мови, машинного навчання та семантичного пошуку. Таким чином, онтологічний підхід визначає уніфіковану формальну основу для представлення, узгодження та управління знаннями в інтелектуальних системах та забезпечує перехід від ізольованих інформаційних моделей до інтегрованого когнітивного середовища, у якому знання стають активним компонентом аналітичних і управлінських процесів. Це створює методологічне підґрунтя для розроблення онтологокерованих когнітивних систем нового покоління, що поєднують формальну точність, семантичну гнучкість і пояснюваність результатів.

Онтологічна інженерія становить практичний вимір реалізації онтологічного підходу, в межах якого формуються та розвиваються знаннєві структури когнітивних систем. Вона забезпечує організацію процесів, пов'язаних із побудовою, формалізацією, узгодженням і розвитком онтологічних моделей, що утворюють семантичне ядро системи (рис. 3). Саме завдяки інженерному рівню здійснюється перехід від концептуальних описів до формалізованих моделей, які стають

операційною основою когнітивного аналізу та логічного виведення.

У контексті когнітивних систем онтологічна інженерія визначає цикл життя знань – від первинної концептуалізації предметної області до їх автоматичного оновлення та збагачення в процесі функціонування. Вона передбачає ієрархічну організацію моделей. Завдяки цьому забезпечується цілісність і несуперечність знаннєвого простору, що є передумовою когнітивної узгодженості системи. Онтологічна інженерія інтегрує методи формалізації, логічного виведення, семантичного узгодження й автоматичного збагачення знань, забезпечуючи адаптивність когнітивних систем до змін у предметній галузі (рис. 4). Через механізми концептуальної стратифікації та типізації понять формуються ієрархії класів, відношення порядку, причинно-наслідкові та функціональні залежності, що створюють умови для когнітивного виводу. Система в такому разі не просто оперує даними, а працює на рівні логічних структур і семантичних зв'язків, які визначають смислову архітектуру знань.

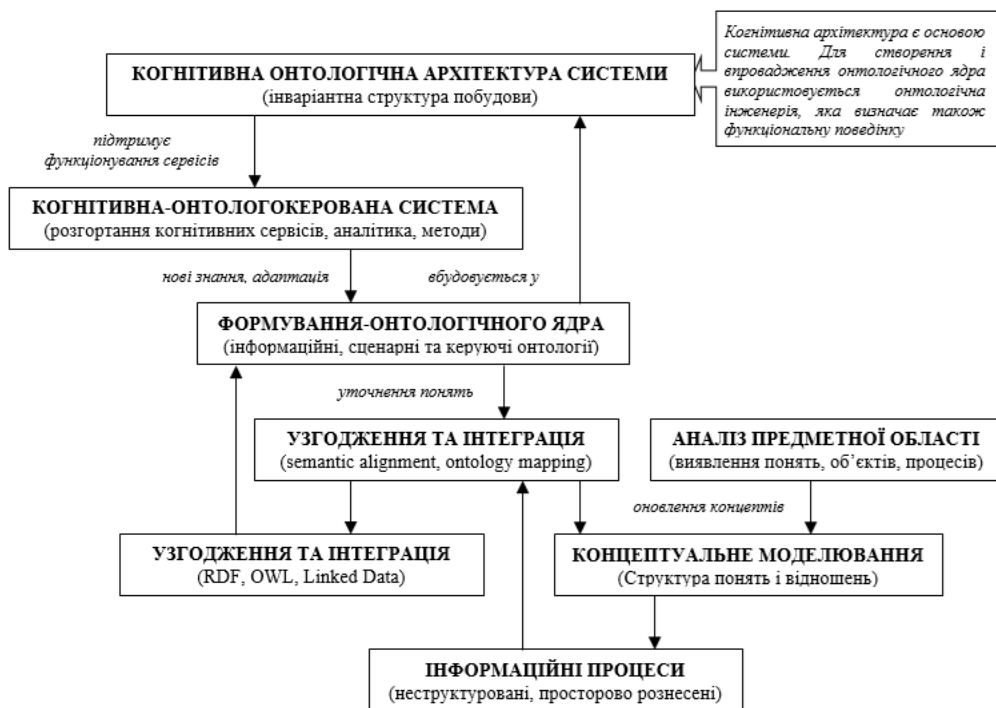


Рис. 3. Онтологічна інженерія як методологічна основа когнітивних систем
Джерело: розроблено авторами

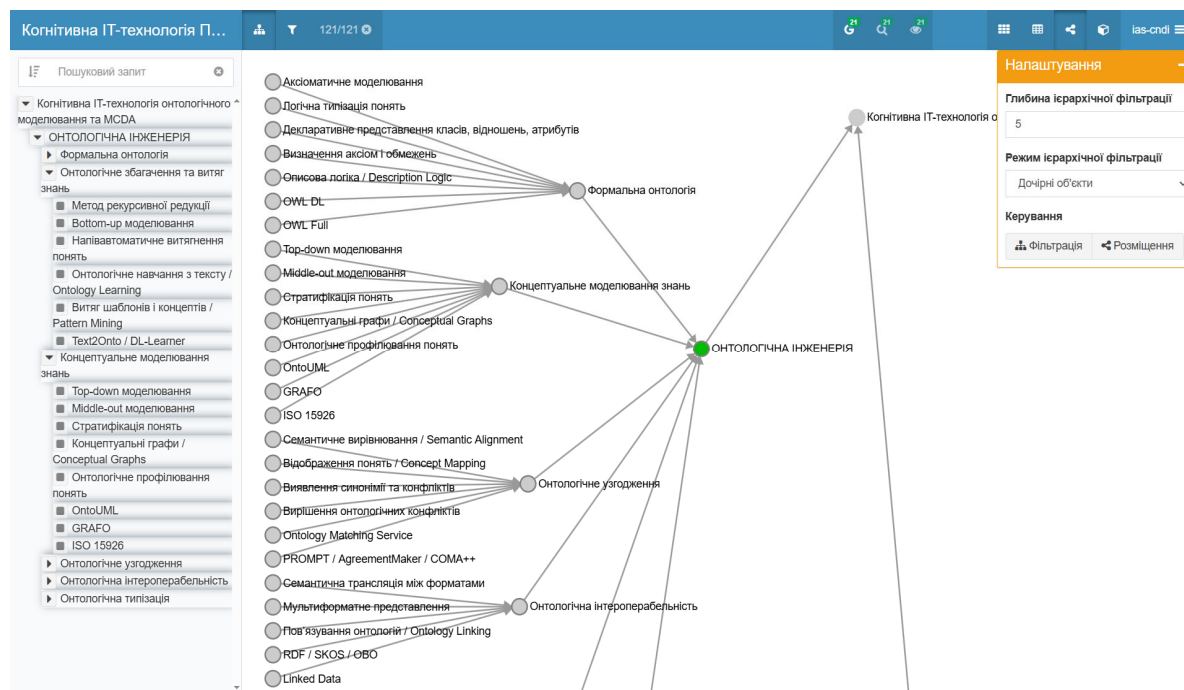


Рис. 4. Методи, підходи та засоби онтологічної інженерії
Джерело: розроблено авторами

В онтологічно керованих когнітивних системах інженерний рівень задає семантичну архітектуру аналітичних процесів. Усі методи, алгоритми й критерії описуються у вигляді онтологічних концептів, а тому будь-яка зміна у структурі понять чи відношень автоматично перебудовує логіку аналітичних розрахунків. Це забезпечує властивості самоналаштування, еволюційності та пояснюваності результатів, що принципово відрізняє такі системи від традиційних алгоритмічних моделей. Онтологічна інженерія тим самим забезпечує когнітивну прозорість – можливість відтворити логіку прийняття рішення через ланцюжок семантичних і причинно-наслідкових відношень.

Результатом онтологічного інженерного процесу є семантичне ядро системи – формалізована знаннева база, у якій заковдані об'єкти, параметри, критерії та взаємозв'язки предметної області. Це ядро забезпечує узгодженість, узагальнення й автоматичне виведення нових знань, створюючи передумови для побудови когнітивних систем, що працюють не з даними, а зі смислами. Саме в цьому полягає перехід від інформаційних технологій до когнітивних – від обчислення до розуміння.

Онтологічна інженерія у цьому сенсі є не лише технологічним інструментом, а й методологічним механізмом, який поєднує формальну логіку, семантичне моделювання та когнітивну аналітику в єдину систему. Вона забезпечує еволюційний

розвиток знанневих структур, інтеграцію різномірних ресурсів, підтримку пояснюваності та обґрунтованості аналітичних висновків. Саме тому онтологічна інженерія виступає методологічною основою когнітивних систем, перетворюючи знання на активний елемент аналітичного процесу та формуючи підґрунтя для створення інтелектуальних технологій нового покоління.

Слід зазначити, що когнітивна технологія КІТ ПОЛПЕДР дозволяє забезпечувати під час аналізу спроможностей авіації ПС реалізацію основних підходів і методів онтологічної інженерії на прикладному рівні (рис. 4). Використання відповідних засобів онтологічної інженерії дозволяє формалізувати аналітичні методики, що застосовуються під час оброблення та інтерпретації даних. Це, у свою чергу, забезпечує можливість отримання об'єктивних висновків і прийняття рішень на основі аналізу документів, які неявно відображають пасивні системи знань різних галузей, характеризуються міждисциплінарними зв'язками та створені із використанням різних інформаційних технологій і стандартів.

Зокрема методика аналізу спроможностей підрозділів авіації ПС може бути ефективно формалізована та опрацьована на засадах онтологічного інжинірингу, на прикладі коду спроможностей 9.2.5 “Єдиного переліку (каталогу) спроможностей МО України і ГШ ЗС України”, що відноситься до бригади тактичної авіації, фрагмент якого наведено на рис. 5.

7. ЗАХИСТ ТА ЖИВУЧІСТЬ (PROTECT)

Код спроможності: 9.2.5**Назва спроможності:** Бригада тактичної авіації (винищувальна) (6 кодів спроможності)**Опис вимог до спроможності:**

1.1. Здатність здійснювати ураження угруповань військ, авіації, Військово-Морських Сил противника, руйнування його важливих військових, військово-промислових, енергетичних об'єктів, вузлів, комунікацій, об'єктів військового та державного управління на передньому краї оборони, у тактичній і найближчій оперативній глибині.

2.1. Здатність здійснювати планування та управління застосування бригади автономно або у складі угруповань військ (сил).

2.2. Здатність забезпечувати координацію та управління (командування) до 3-х авіаційних ескадрилей.

2.3. Здатність планувати та організовувати нанесення авіаційних ударів по визначених об'єктах на передньому краї оборони, у тактичній і найближчій оперативній глибині.

Рис. 5. Фрагмент коду спроможності 9.2.5

Джерело: розроблено авторами

Перша частина опису вимог до спроможності містить лише пункт “1.1. Здатність здійснювати ураження угруповань військ, авіації, Військово-Морських Сил противника, руйнування його важливих військових, військово-промислових, енергетичних об'єктів, вузлів, комунікацій, об'єктів військового та державного управління на передньому краї оборони, у тактичній і найближчій

оперативній глибині”. Фактично цей підпункт формує велику множину вимог, кожній з яких може відповідати або не відповідати кожна конкретна бригада тактичної авіації у заданий момент.

Дана вимога може бути формалізована засобами онтологічного інжинірингу у вигляді, представленому на рис. 6.

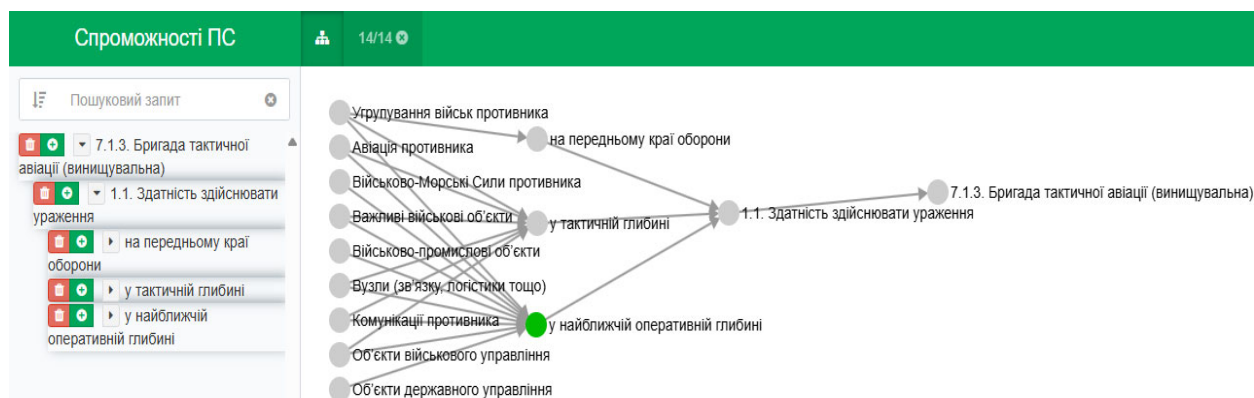


Рис. 6. Онтологічне представлення спроможностей авіації Повітряних Сил

Джерело: розроблено авторами

При цьому результат формалізації спроможностей може бути представлений в онтологічному вигляді:

$$O = \langle X, R, A \rangle, \quad (1)$$

де: X – множина об'єктів онтології; R – множина зв'язків між об'єктами онтології; A – множина атрибутів об'єктів предметної області спроможностей авіації ПС.

Онтологія є пасивною системою знань і призначена для зберігання структурованої інформації про об'єкти, їхні властивості та взаємозв'язки. Пасивна онтологія може використовуватися як основа для побудови функціонального опису об'єктів предметної області, що дозволяє автоматизовано аналізувати

спроможності підрозділів авіації ПС. Об'єкти, представлені в пасивній онтології, можуть бути інтерпретовані як елементи, що беруть участь у виконанні операцій, які можуть бути формалізовані як функції.

На основі такої онтології сформульована активна онтологія:

$$O = \langle X, R, A_F, A_C, A_A, F_A \rangle \quad (2)$$

$$A = A_F \cup A_C \cup A_A \quad (3)$$

де: X – множина об'єктів онтології; R – множина зв'язків між об'єктами онтології; A_F – множина функціональних атрибутів, що містять описи

функцій; A_C – множина атрибутів конфігурації, що задають параметри виконання створених на основі A_F функцій; A_A – статичні атрибути, що не приймають участі в виконанні функціональних конфігурацій і містять додаткові пояснення щодо логіки роботи функціональної конфігурації; F_A – функції, отримані шляхом інтерпретації атрибутів A_F .

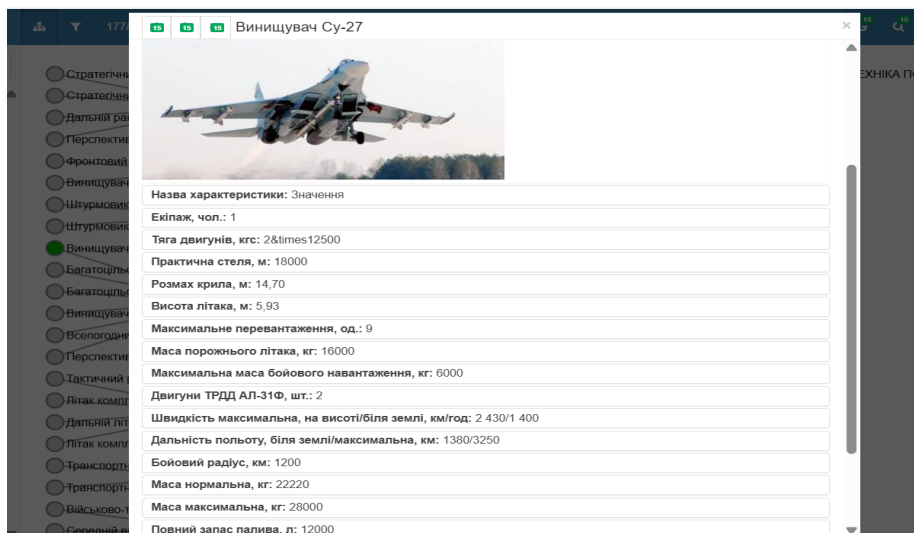
Таким чином, єдиний функціональний опис розбивається на велику кількість фрагментів, кожен з яких описується одним атрибутом з A_F . Це дозволяє структурно відображати задачу аналізу спроможностей.

Для задачі аналізу спроможностей, крім власне функціонального опису, потрібні вихідні дані для аналізу, які теж можуть бути представлені у вигляді об'єктів онтології (рис. 7).

В цілому, доцільно залучати кілька видів онтологій:

- онтологія спроможностей – активна онтологія;
- онтологія ТТХ (рис. 7) – пасивна онтологія;
- онтологія підрозділу, що аналізується – пасивна онтологія;
- онтологія поточного забезпечення підрозділу пасивна, за необхідності – активна (з врахуванням зміни забезпеченості в часі).

Структура обчислювальної задачі, що буде здійснюватися в рамках аналізу спроможностей, буде наступною:



Назва характеристики	Значення
Екіпаж, чол.:	1
Тяга двигунів, кгс:	2×12500
Практична стеля, м:	18000
Розмах крила, м:	14,70
Висота літака, м:	5,93
Максимальне переваження, од.:	9
Маса порожнього літака, кг:	16000
Максимальна маса бойового навантаження, кг:	6000
Двигуни ТРДД АЛ-31Ф, шт.:	2
Швидкість максимальна, на висоті/біля землі, км/год:	2 430/1 400
Дальність польоту, біля землі/максимальна, км:	1380/3250
Бойовий радіус, км:	1200
Маса нормальна, кг:	22220
Маса максимальна, кг:	28000
Повний запас палива, л:	12000

Рис. 7. Об'єкт онтології спроможностей авіації Повітряних Сил
Джерело: розроблено авторами

Додатково на це накладається умова щодо ураження об'єкту, наприклад, при ураженні бронетехніки накладається умова бронепробиття. Таким чином, утворюється матриця функцій, яка

$$F(x_r, O_l) = F_{avg} \left(\bigcup_{x \in C(x_r)} \{\lambda_x(O_l)\} \right), \quad (4)$$

де: F – функція спроможностей підрозділу; x_r – об'єкт спроможності (наприклад, спроможності 9.2.5, зображеної на рис. 5; $O_l = O_l^1 \cup O_l^2 \cup \dots \cup O_l^n$ – зведена інформаційна онтологія, отримана шляхом об'єднання всіх доступних інформаційних онтологій; F_{avg} – функція узагальнення, як правило – середнє арифметичне або середнє геометричне; C – функція пошуку об'єктів, що містять функціональні описи показників; λ_x – функціональний опис показника, заданий об'єктом x .

При фактичному застосуванні описаної структури основним є етап формалізації, в рамках

якого і будуються функціональні описи λ_x . Наприклад, показник спроможності “здатність уражати об'єкти у найближчій оперативній глибині” потребує:

- певної дальності боеприпасу;
- здатності носія здійснювати запуск боеприпасу в рамках заданої дальності;
- здатність боеприпасу подолати протиповітряний захист для ураження визначеного об'єкту.

обробляється і лінеаризується функцією C , після чого всі показники обчислюються на основі вихідних даних O , а результат узагальнюється.

Таким чином, когнітивно-онтологокеровані системи (КІТ ПОЛІЕДР) формують новий тип інтелектуальних обчислювальних середовищ, у яких інформаційні, аналітичні та управлінські процеси здійснюються на рівні знань, формалізованих у вигляді онтологічних структур. На відміну від традиційних систем, орієнтованих на обробку даних, центральним елементом такої архітектури виступає онтологічне ядро – формалізована база знань, що відображає зміст предметної галузі, визначає логіку обчислень і слугує когнітивною основою аналітичних та управлінських процесів. Важливим аспектом систем такого рівня є можливість автоматичного чи автоматизованого представлення наративних описів у онтологічному виді, що відіграє ключову роль у формуванні когнітивної бази знань. Технологічні засоби КІТ ПОЛІЕДР забезпечують опрацювання різномірних природномовних текстів – аналітичних звітів, наукових описів, технічної документації – з їх подальшою трансформацією у структуровані онтологічні моделі. Така обробка дозволяє відтворювати семантику первинного змісту, інтегрувати її у загальну систему понять і забезпечувати зв'язність між даними, знаннями та аналітичними процесами. У результаті формується динамічне знання середовище, у якому будь-який текст стає джерелом онтологічного збагачення та когнітивного розвитку системи.

Архітектура когнітивно-онтологокерованих систем ґрунтується на принципі онтологічного управління всіма рівнями організації – від моделей даних і процедур аналітики до механізмів прийняття рішень і взаємодії з користувачем. У її структурі виокремлюються інформаційні онтології, що описують зміст і структуру знань предметної галузі, та керуючі онтології, які визначають логіку функціонування системи, регламентують обчислювальні процеси й адаптивну поведінку сервісів. Взаємодія між цими рівнями забезпечує узгодженість між змістовим і процедурним аспектами системи. Онтології загалом виступають одночасно моделлю знань, механізмом управління та основою для обчислювальної аналітики, утворюючи єдину когнітивно-семантичну інфраструктуру. Така архітектура створює передумови для побудови інтелектуальних когнітивних сервісів, здатних до саморозвитку, семантичної інтеграції та безперервного онтологічного вдосконалення.

Побудова онтологокерованої архітектури програмного забезпечення на основі Л-системи (Σ_{pz}) з можливістю включення до неї механізмів керування на основі онтологій дозволяє досягнути

архітектурної гнучкості. Формально це описується таким чином:

$$\Sigma_{pz} = \{\Sigma_{konzO}, \Sigma_{zovno}, \Sigma_{vno}, \varphi, \xi(O_T)\}, \quad (5)$$

де: Σ_{konzO} – онтологокерована концептуальна модель; Σ_{zovno} – онтологокерована зовнішня модель; Σ_{vno} – онтологокерована внутрішня модель; φ – оператор перетворення $\Sigma_{konzO} \rightarrow \Sigma_{zovno}$; $\xi(O_T)$ – оператор перетворення $\Sigma_{zovno} \rightarrow \Sigma_{vno}$.

Концептуальна модель онтологокерованої Л-системи має вигляд (6):

$$S_{cmO} = \{\{x_I, x_S\}, \{r_I, r_S\}, M(x_S, R_S(x_S))\} \quad (6)$$

де: x_I, r_I – типові об'єкт і зв'язок інформаційної онтології; x_S, r_S – типові об'єкт і зв'язок керуючої онтології; $M(x_S, R_S(x_S))$ – множина функцій-інтерпретаторів керуючих онтологій, що перетворюють певний об'єкт x_S і релевантні йому зв'язки $R_S(x_S)$ в певну підпрограму.

Внутрішня модель онтологокерованої Л-системи визначається як сукупність онтологічних моделей і операторів їх взаємодії, що забезпечують послідовне перетворення концептуального подання у зовнішню та внутрішню реалізації системи:

$$S_{immO} = \{O_I, O_S, G_S, E_G\} \quad (7)$$

де: O_I, O_S – множини інформаційних і керуючих онтологій відповідно; G_S – множина стандартних підпрограм Л-системи; E_G – операційне середовище.

Зовнішня модель онтологокерованої Л-системи базується на засадах натуральної системи [30], що утворюється шляхом оброблення керуючих онтологій за допомогою конкретних реалізацій функцій $M \text{ } MG_S$.

$$S_{exmO} = \{O_{PR}, O_T, N(O_S, \bar{Q}(O_{PR}), Q_w(O_T))\} \quad (8)$$

де: $O_{PR} \text{ } MO_S$ – множина онтологій процесу; $O_T \text{ } MO_S$ – множина онтологічних шаблонів структур даних; N – динамічна натуральна система; $\bar{Q}$ – вектор функцій обробки даних $Q_i \text{ } MG$; Q_w – множина функцій контролю цілісності.

Онтологокерована архітектура має вигляд інтегрованої системи, у якій онтологічне ядро

координує роботу когнітивних сервісів збору, структурування, аналізу та візуалізації знань. Усі компоненти системи під час аналізу спроможностей авіації ПК взаємодіють у межах єдиного семантичного простору, що забезпечує інтероперабельність між різними онтологіями, дисциплінами та форматами даних. Така організація створює передумови для розгортання комплексних когнітивних інтелектуальних сервісів здатних (рис. 8). Онтологічне ядро виконує роль обчислювального центру, де аналітичні процеси

задаються за допомогою онтологій. У системах аналізу спроможностей – це ядро слугує основою формальних моделей оцінювання, що дозволяє здійснювати обґрунтоване порівняння чи прогнозування очікуваних результатів. Ключовою функціональною характеристикою когнітивно-онтологокерованої системи є здатність розгорнути когнітивні сервіси (рис. 8) – інтелектуальні модулі, що реалізують певні аналітичні функції для підтримки при формуванні обґрунтованих висновків.

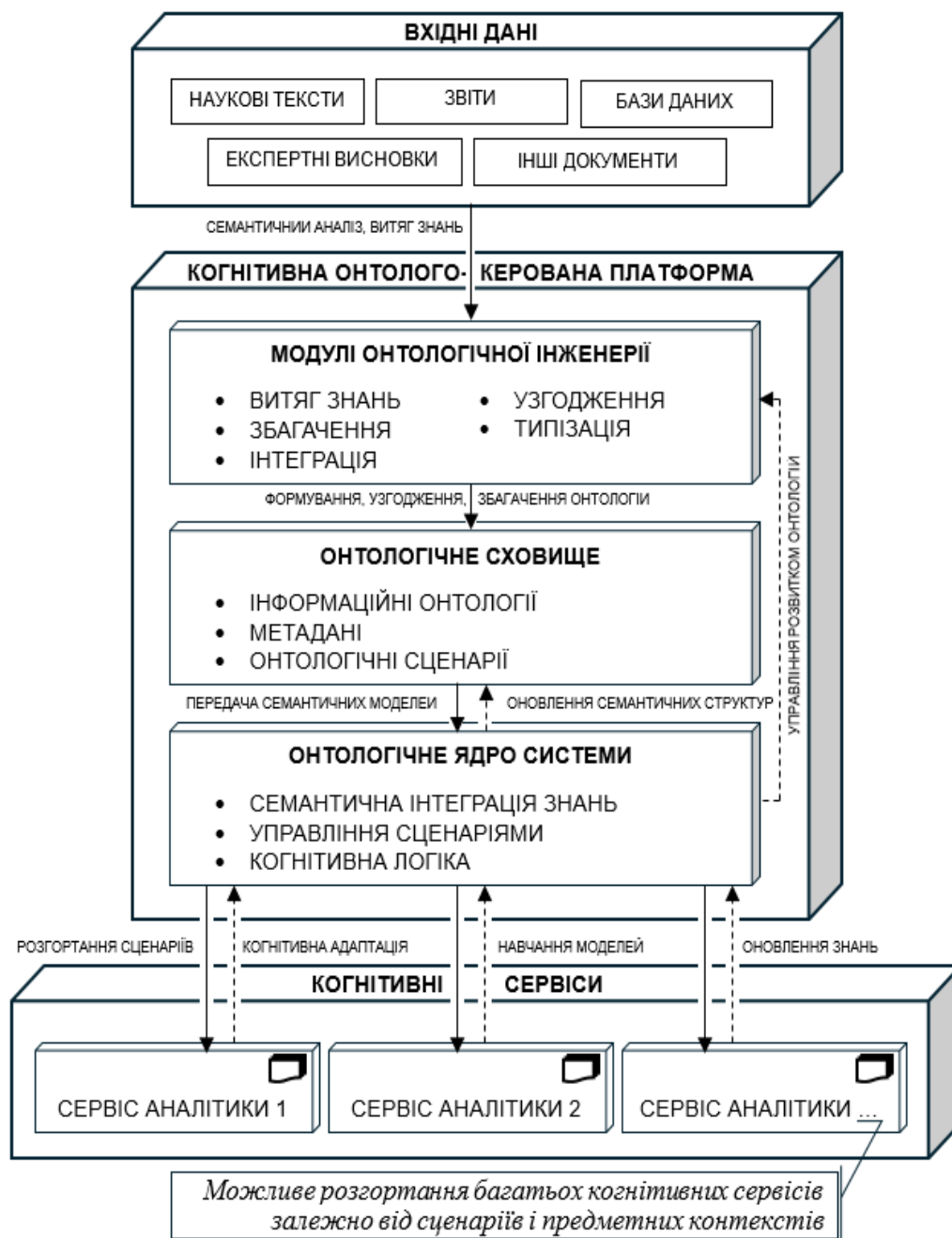


Рис. 8. Архітектура верхнього рівня когнітивної онтологокерованої системи
Джерело: розроблено авторами

Когнітивні сервіси діють у єдиному семантичному полі системи, що забезпечує інтегрованість різних видів аналітики у межах однієї спільної мережецентричної моделі. Саме завдяки такій інтеграції когнітивна платформа КІТ ПОЛЕДР може виступати основою для комплексного аналізу спроможностей, у якій онтологічне ядро визначає параметри, критерії та залежності між ними, забезпечуючи обґрунтованість і відтворюваність результатів.

Отже, когнітивно-онтологеровані системи формують новий рівень розвитку інтелектуальних технологій, у якому обчислення поєднуються з онтологічно зумовленою адаптивністю, а інформація перетворюється на знання. Їхня архітектура забезпечує інтеграцію різномірних джерел і семантичну узгодженість – властивості, що робить дану когнітивну технологію “ПОЛЕДР” основою для розгортання когнітивних та аналітичних сервісів, здатних до комплексного аналізу, моделювання та підтримки прийняття рішень у трансдисциплінарних середовищах.

Висновки

Запропонована методика аналізу спроможностей авіації ПС на основі онтологічного інжинірингу дозволяє перейти від загальних, часто надто узагальнених формулювань, до чітко структурованих, формалізованих описів, придатних для автоматизованої обробки.

Використання пасивних та активних онтологій забезпечує можливість не лише зберігати знання про об’єкти, їхні властивості та взаємозв’язки, а й формувати функціональні конфігурації, що відображають реальні бойові спроможності підрозділів.

Такий підхід дозволяє створити єдину інформаційну модель, яка інтегрує вимоги до спроможностей, технічні характеристики озброєння та поточний стан підрозділів. Це, у свою чергу, відкриває можливості для побудови обчислювальних моделей оцінки, які здатні враховувати широкий спектр факторів – від технічних параметрів до умов застосування. У результаті команди та аналітики отримують інструмент, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо бойового застосування, модернізації та розвитку Повітряних Сил.

Таким чином, онтологічний інжиніринг виступає не лише як засіб формалізації знань, а як основа для створення адаптивних, масштабованих і прозорих систем підтримки прийняття рішень у сфері оборонного планування та управління спроможностями.

Подальші дослідження авторів будуть спрямовані на обґрунтування розвитку спроможностей авіації на середньострокову перспективу.

Список літератури

1. Закон України. Про національну безпеку України. – [https://www. zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text](https://www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19#Text) / [Електронний ресурс]. – Дата доступу: 20.09.2023.
2. Закон України (проект). Про засади державної політики перехідного періоду. – https://www.minre.gov.ua/sites/default/files/1._zakonoprojekt_pro_zasady_dppp.pdf / [Електронний ресурс]. – Дата доступу: 20.09.2023.
3. Рішення Ради національної безпеки і оборони України. Про Стратегічний оборонний бюлетень України. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0063525-21#Text> / [Електронний ресурс]. – Дата доступу: 25.09.2023.
4. Указ Президента України. Про Стратегію воєнної безпеки України. – <https://www.president.gov.ua/documents/1212021-37661> / [Електронний ресурс]. – Дата доступу: 26.09.2023.
5. Ansari M. H., Moradi M., NikRah O., Kambakhsh K. M. CodERS: A hybrid recommender system for an E-learning system. 2016 2nd International Conference of Signal Processing and Intelligent Systems (ICSPIS). IEEE. 2016. С. 1–5. ISBN: 978-1-5090-5820-4 DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSPIS.2016.7869884>.
6. Массель Л.В., Массель А.Г. Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике. Вычислительные технологии. 2013. Том 18. Специальный выпуск. С. 37–44.
7. Rivera A. C., Tapia-Leon M., Lujan-Mora S. Recommendation Systems in Education: A Systematic Mapping Study. Cham : Springer. 2018. С. 937–947. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73450-7_89.
8. Головін О. О. Онтологічна інформаційно-аналітична підтримка процесів функціонування системи управління технологіями військового призначення// Озброєння та військова техніка: науково-технічний журнал / Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України . – Вип 2 (22). – К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України. 2019. – С. 16 – 28.
9. Chungora N., Young R., Gunendran G., Palner C., Usman Z. A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing. Computers in industry. 2013, 64 (4), S. 392–401.

10. Dubinin V., Vyatkin V. Designing control applications based on the transformation of ontologies using logical programming languages. In Proceedings of the International Scientific and Technical Conference on Contemporary information technologies, 2012, S. 6–25.

11. Kopaygorodsky A. Use of ontologies in semantic information systems, *Ontology of Designing*, 2014, 4 (14), S. 78–89.

12. Zagorulko Y. Semantic ontology for development of intelligent systems oriented to experts in subject domain, *Ontology of Designing*, 2015, 5 (1), S. 30–46.

13. Stryzhak O., Prychodniuk V., Podlipaiev V. Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information // *Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2019. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 560. Springer, Cham. – pp. 34–75.

14. Dovhyi S., Stryzhak, O. Transdisciplinary Fundamentals of Information–Analytical Activity / Editors : Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. *Advances in Information and Communication Technology and Systems, MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 152. Cham: Springer Publ., 2020 [Електронний ресурс]. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58359-0_7.

Надійшла до редколегії 20.10.2025

Схвалена до друку 22.11.2025

Відомості про авторів:

Information about the authors:

Стрижак Олександр Євгенійович

Oleksandr Stryzhak

доктор технічних наук
професор
головний науковий співробітник
Центрального науково–дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2481-2877>

Doctor of Technical Sciences
Professor
Chief Researcher
of Central Research Institute of Weapons and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2481-2877>

Потапов Григорій Михайлович

Hrihorii Potapov

кандидат військових наук,
старший науковий співробітник
науковий співробітник
Центрального науково–дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5778-9327>

Candidate of Militari Sciences
Senior Researcher
Research Associate
of Central Research Institute of Weapons and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0000002-5778-9327>

Приходнюк Віталій Валерійович

Vitalii Prykhodniuk

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Центрального науково–дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2108-7091>

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
of Central Research Institute of Weapons and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2108-7091>

Сень Микола Петрович

Mikola Sen

кандидат політичних наук
докторант
Центрального науково–дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6964-622X>

Candidate of Political Sciences
Doctoral Candidate
of Central Research Institute of Weapons and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6964-622X>

Горбурков Вячеслав Вікторович

кандидат технічних наук
науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2758-7724>

Vyacheslav Horburokov

Candidate of Technical Sciences
Research Associate
of Central Research Institute of Weapons and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2758-7724>

METHODOLOGY FOR ANALYZING THE CAPABILITIES OF AVIATION UNITS OF THE AIR FORCE BASED ON ONTOLOGICAL ENGINEERING

O. Stryzhak, H. Potapov, V. Prykhodniuk, M. Sen, V. Horburokov

The article considers an effective tool for studying the capabilities of military formations of the Armed Forces - a methodology for analyzing the capabilities of Air Force aviation units based on ontological engineering. The assessment of capabilities can be carried out based on the results of monitoring the status of the military formation. Monitoring can be carried out constantly or during planning periods. A feature of this process is the dynamic change in the status over time. This is influenced by a set of factors, one of the important ones today is the participation of Air Force aviation (AF) in repelling the armed aggression of the Russian Federation. The methodology is based on the principles of ontological engineering. The use of ontological engineering will allow for the effective processing of large volumes of unstructured information and reporting documents on many indicators, including the status of EW, which come from military units (subunits) of deployed groups of troops (forces) during combat operations. The developed methodology allows for the analysis, selection and structuring of information resources of both structured and unstructured types. The developed methodology can also be used in the analysis of information processes in other areas of military equipment development and is an effective tool for supporting management decision-making.

Keywords: Consolidation of information resources, cognitive information technology, weapons and military equipment, ontological engineering, transdisciplinarity, special software.