

УДК: 004.75+004.8+004.91+005.94+623.4
DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.3\(43\).104-111](https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.3(43).104-111)

В. Л. БОГДАНОВ, академік НАН України, доктор фізико-математичних наук
<https://orcid.org/0000-0001-9864-9120>
(Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, м. Київ)

І. Б. ЧЕПКОВ, член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

О. Є. СТРИЖАК, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-4954-3650>

І. В. ОДНОРАЛОВ, доктор технічних наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-7151-3175>

А. В. КУЧИНСЬКИЙ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-1687-9393>

Г. М. ПОТАПОВ, кандидат військових наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-5778-9327>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ АПАРАТ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ КОНСТРУКЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

У статті наведено результати досліджень щодо розроблення науково-методичного апарату, який дозволяє за результатами аналізу ідентифікувати матеріали конструкцій спеціального призначення. Ідентифікація здійснюється на основі використання баз знань розвитку матеріалів конструкцій спеціального призначення. Науково-методичний апарат побудовано з використанням можливостей когнітивної інформаційної технології та елементів штучного інтелекту. Науково-методичний апарат створено з використанням спроможностей когнітивної інформаційної технології та розроблених для цього сервісів, які включають онтолого-семантичні і онтолого-аналітичні групи. Зазначені групи сервісів дозволяють реалізувати семантико-лінгвістичний та концептографічний аналізи великих обсягів інформації, а саме: природномовних наративів, документів та табличних даних, виявлення консолідованих логістичних зв'язків між ними, критеріїв оцінювання та підтримку прийняття рішень для дослідження конструкцій спеціального призначення.

Ключові слова: багатомірний аналіз, задача вибору, інформаційні ресурси, консолідація, концептографія, ідентифікація, конструкції спеціального призначення, онтологія, трансдисциплінарність, таксономія, штучний інтелект, матеріалознавство, сталі та сплави.

ВСТУП

Розвиток озброєння і військової техніки (ОВТ) базується на використанні сучасних науково-технічних досягнень в усіх областях знань і є основою науково-технічного прогресу в сферах фундаментальних наук (механіка, фізика твердого тіла, аеродинаміка тощо) та прикладних досліджень (електроніка, авіоніка, матеріалознавство, приладобудування). Необхідність впровадження нових підходів та технологій підтверджено у [1], де визначено, що безпека країни буде залежати від здатності зрозуміти, адаптувати та запровадити такі технології, як штучний інтелект, автономне управління та гіперзвукові системи. В той же час, запровадження розвитку гіперзвукових систем потребує використання матеріалів конструкцій з підвищеними експлуатаційними властивостями, що неможливо без використання передових технологій їх створення. Тобто в основу створення передових технологій покладатиметься аналіз матеріалів конструкцій таких зразків, які вже використовуються країнами світу під час створення гіперзвукових систем зброї.

При цьому треба враховувати той факт, що вказані матеріали на сьогодні містять велику кількість інформації та даних щодо технологічних рішень, які постійно вдосконалюються. При чому, основна більшість таких матеріалів представляється у природномовному форматі. Їхнє оброблення потребує сучасних засобів штучного інтелекту, які забезпечують семантико-лінгвістичний та концептографічний аналізи великих обсягів інформації, а саме: наративів, документів та табличних даних, виявлення логістичних зв'язків між ними, критеріїв оцінювання та підтримку прийняття рішень у форматі наступного технологічного ланцюга: документи → аналіз → лінгвістичний корпус → формування нейронної мережі + генерація онтологій → виявлення критеріїв оцінювання → генерація аналітичних площадок прийняття рішень.

Саме на основі використання вказаних засобів штучного інтелекту можливо реалізувати ефективні дослідження за результатами моніторингу різних інформаційних ресурсів з широкого спектру звітів з відкритих джерел, внутрішніх оцінок та досліджень про перспективи їх розвитку для вироблення всебічного розуміння майбутнього технологічного середовища.

Тому, розроблення та вдосконалення науково-методичного апарату ідентифікації матеріалів конструкцій спеціального призначення є актуальним науковим завданням і потребує використання нових методів та підходів [1–4]. У сучасних умовах перспективним напрямом є впровадження в наукову діяльність елементів штучного інтелекту для підвищення оперативності досліджень і підвищення достовірності та валідності результатів, які отримано за результатами досліджень.

Метою статті є удосконалення методологічних основ підтримки процесу ідентифікації складових частин, елементів засобів ураження розвитку ОБТ за рахунок розроблення науково-методичного апарату досліджень матеріалів конструкцій спеціального призначення з використанням елементів штучного інтелекту.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час створення техніки спеціального призначення важливим етапом є аналіз фізико-механічних характеристик матеріалів їх конструкцій, які, в першу чергу, визначають експлуатаційні характеристики складних систем спеціального призначення. Аналіз є процесом уявного або справжнього розчленування об'єкту та його подальшого дослідження, він також є інструментом дослідження складу та властивостей будь-якої речовини [5, 6].

Результати досліджень [5, 6] та публікації [7–11] свідчать, що питанням аналізу матеріалів конструкцій спеціального призначення приділяється значна увага, але досвід практичного впровадження створених інструментів для аналізу підводить до висновку, що теоретичних розробок у цій сфері недостатньо. Ці результати на кожному етапі дослідження практично завжди викладаються у нарративному форматі.

Характерною особливістю технологій, які забезпечують аналіз нарративних описів вказаних матеріалів, є їхня орієнтація на багатоформатність та оперування гетерогенними даними. При цьому провідною властивістю тут має виступати здатність до семантичного, смислового оперування текстовою, природномовною інформацією, що забезпечує належний рівень інтелектуальності створюваних технологій. Адже «інтелект є формою індивідуалізації системи, якій притаманний мовний статус» [13]. У такий спосіб розроблювані технології й засоби потрапляють до класу інтелектуальних інформаційно-лінгвістичних і для своєї реалізації вимагають залучення методів корпусної лінгвістики, теорій лексикографічних систем, семантичних станів та трансдисциплінарної консолідації – уже на рівні побудови концептуальних моделей, а далі – й на всіх інших ділянках проєктування та у всіх елементах інформаційної архітектури аналітичних досліджень [14].

Зазначені дослідження є складним процесом, що має бути передбачено у процесах науково-технічної та виробничо-технологічної діяльності, яка в сучасних умовах має мережецентричний характер. Цьому сприятимуть сучасні ІТ-технології, а саме – засоби штучного інтелекту (ШІ), когнітивних обчислень тощо [15]. На їх основі реалізується трансдисциплінарна взаємодія експертів-дослідників у форматі е-сценарію з множинами НТТНр, та безпосередньо НТТНр між собою, що й характеризує сучасний інформаційний простір, як на глобальному, так й на локальному рівнях.

За допомогою лінгво-семантичних та концептографічних засобів штучного інтелекту забезпечується створення і використання онтологічних баз знань, на основі яких реалізується процес інформаційної підтримки процесу наукових досліджень. Застосування цих програмно-інформаційних засобів ШІ орієнтовано на розв'язання

багатьох задач, які включають організацію взаємодії експертів та їх доступ до інформаційних джерел формування знань.

Поняття онтології й онтологічного аналізу ввійшли в процедури і стандарти моделювання систем баз знань науково-дослідницького призначення. Адже описання таких систем – є структурування інформаційних джерел формування знань. Реалізація зазначених технологій потребує врахування різних формально-методологічних вимог, критеріїв і оцінок. Наведемо основні з них:

- побудова інформаційної й функціональної моделей;
- необхідність структурування термінів і понять;
- правила формування достовірних тверджень і висновків, що описують терміни й поняття.

На початковому етапі побудови онтологічної моделі необхідно виконати такі завдання:

- створення і документування словника термінів;
- описання правил, згідно яких на базі введеної термінології формуються достовірні твердження, що характеризують стан системи;
- побудова моделі, за допомогою якої на основі наявних тверджень можна формувати необхідні додаткові твердження.

Онтологічна система характеризується єдністю, логічним взаємозв'язком і несуперечністю використовуваних понять.

Отже, онтологічна база знань має свою організаційну структуру, яка формує функціональні зв'язки між інформаційними об'єктами бази знань. При цьому майже всі інформаційні об'єкти сучасних баз знань повністю інтегруються з її функціональною структурою, що визначає великі структурні розміри таких систем. Для розв'язання цієї проблеми пропонується формувати структуру бази знань у вигляді сукупності окремих персоніфікованих е-сценаріїв, які в межах заданої онтологічної структури операціонально формуються відповідно до вибраного об'єкта та поставленої задачі.

Процес формування онтологічної моделі е-сценарію наукових досліджень полягає в тому, що можна узгоджено подавати їх у вигляді об'єктів [16].

Загальна формула формалізації цієї онтологічної моделі має такий вигляд:

$$S = \left\{ O_a \left\{ P_b \left\{ T_d \left\{ E_e \left\{ C_q \left\{ M_v \left\{ Z_g \right\} R_h \left\{ Z_g \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \right\} \quad (1)$$

де: об'єкти досліджень: $O = \{O_a\}, a = 1, 2, 3, \dots, m$; предмети досліджень: $P = \{O_a \{P_b\}\}, b = a1, a2, a3, \dots, an$; теми досліджень: $T = \{P_b \{T_d\}\}, d = b1, b2, b3, \dots, bn$; етапи досліджень: $E = \{T_d \{E_e\}\}, e = d1, d2, d3, \dots, dn$; мета досліджень: $C = \{E_e \{C_q\}\}, q = e1, e2, e3, \dots, en$; засоби досліджень: $Z = \{C_q \{Z_g\}\}, g = q1, q2, q3, \dots, qn$; маршрут досліджень: $M = \{C_q \{M_v \{Z_g\}\}\}, v = g1, g2, g3, \dots, gn$; оцінка результатів: $R = \{C_q \{R_h \{Z_g\}\}\}, h = v1, v2, v3, \dots, hn$.

У табличному вигляді онтологічну модель е-сценарію наукових досліджень представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Ім'я об'єкта	Ім'я класу	Назва ознаки	Умови ідентифікації ознаки: $\{x F(x)\}^*$
Об'єкти досліджень	O	$\{O_a\}$	$\{O_a F(O_a)\}$
$\{O_a\}$	P	Предмети досліджень	
Предмети досліджень	P	$\{O_a \{P_b\}\}$	$\{O_a \{P_b\} F(O_a \{P_b\})\}$
$\{O_a \{P_b\}\}$	T	Теми досліджень	
Теми досліджень	T	$\{P_b \{T_d\}\}$	$\{P_b \{T_d\} F(P_b \{T_d\})\}$
$\{P_b \{T_d\}\}$	E	Етапи досліджень	
Етапи досліджень	E	$\{T_d \{E_e\}\}$	$\{T_d \{E_e\} F(T_d \{E_e\})\}$
$\{T_d \{E_e\}\}$	C	Мета досліджень	
Мета досліджень	C	$\{E_e \{C_q\}\}$	$\{E_e \{C_q\} F(E_e \{C_q\})\}$
$\{E_e \{C_q\}\}$	R	Засоби досліджень	
Засоби досліджень	R	$\{C_q \{R_g\}\}$	$\{C_q \{R_g\} F(C_q \{R_g\})\}$
$\{C_q \{R_g\}\}$	M	Маршрут досліджень	
Маршрут досліджень	M	$\{C_q \{M_v \{R_g\}\}\}$	$\{C_q \{M_v \{R_g\}\} F(C_q \{M_v \{R_g\}\})\}$
$\{C_q \{M_v \{R_g\}\}\}$	O	Оцінка результатів	$C_q \{O_h \{R_g\}\}$
Оцінка результатів	O	$\{C_q \{O_h \{R_g\}\}\}$	$\{C_q \{O_h \{R_g\}\} F(C_q \{O_h \{R_g\}\})\}$

* Умови ідентифікації ознаки: $\{x | F(x)\}$ – визначає множину всіх x таких, що правильно $F(x)$. Приклад: $\{k \in K_a | k < 5\} = \{1, 2, 3, 4\}$.

На рис. 1 представлено приклад онтологічної бази знань, яка формується за протоколом е-сценарію лінгво-семантичного аналізу матеріалів конструкцій спеціального призначення.

Прикладом засобів, які використовувались у е-сценарії дослідження – $R: \{C_q \{R_g\}\}$ (табл. 1), з врахуванням ідентифікації об'єктів $\{C_q \{R_g\} | F(C_q \{R_g\})\}$ аналізу матеріалів, є метод скануючої електронної мікроскопії, з використанням якого проведено дослідження мікроструктурних характеристик матеріалів планеру, що використовуються під час виготовлення баражуючого боєприпасу «Shahed-136», хімічного складу та мікроструктурних характеристик металів та сплавів, що були

використані для виготовлення складових крилатих та авіаційних ракет та інших уламків ОВТ рф. Одним з результатів дослідження є формування онтологічної бази знань, яка спроможна забезпечити розроблення алгоритмів виявлення та реалізації систем протидії баражуючим боєприпасам, ракетам різних типів та інших засобів ураження.

Е-сценарій формування онтологічної бази знань є складним процесом і включає етапи, які представлено на рис. 2.

На *першому етапі* проводиться формування вихідних даних для аналізу матеріалів конструкцій спеціального призначення, а також визначаються обмеження та припущення. Бази знань мають включати відомості з нара-

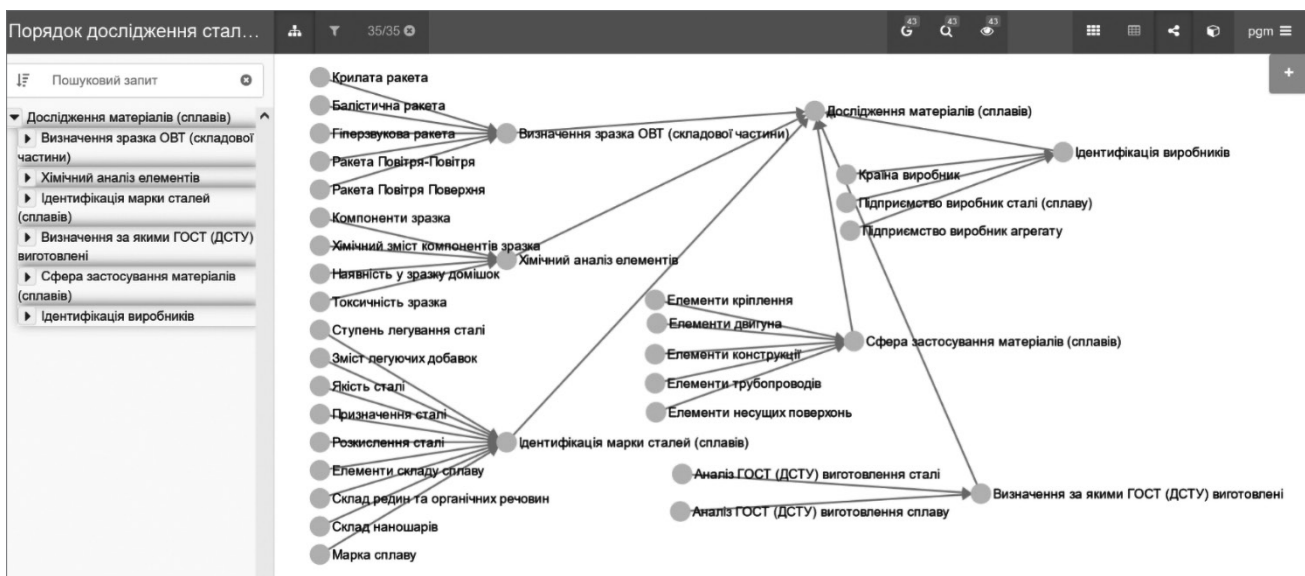


Рис. 1. Онтологічне представлення досліджень матеріалів конструкцій спеціального призначення [15]



Р и с . 2. Структура науково-методичного апарату досліджень матеріалів конструкцій спеціального призначення

тивів матеріалів, нормативну правову базу виробництва матеріалів, стандарти, за якими виробляються матеріали, статті про розвиток матеріалів тощо. Онтологічне представлення бази знань про матеріали спеціальних конструкцій наведено на рис. 3.

Важливим джерелом інформації про матеріали конструкцій спеціального призначення є марочник сталі та сплавів, який містить інформацію щодо класифікації, призначення, замінників, аналогів, хімічного складу, температури критичних точок, а також інших властивостей сплавів [17]. Онтологію марочника сталі та сплавів наведено на рис. 4.

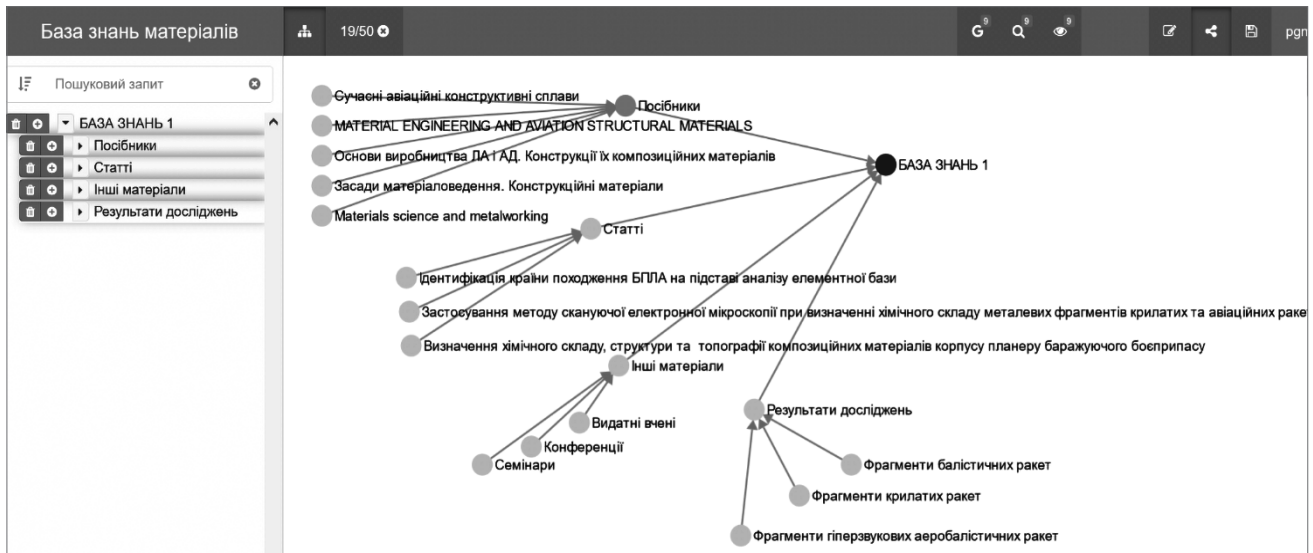
На *другому етапі* проводиться формування динамічних каталогів баз знань про матеріали конструкцій спеціального призначення.

На *третьому етапі* проводиться моніторинг та оброблення результатів досліджень. Так, за результатами моніторингу матеріалів спеціального призначення проводяться їх хімічний аналіз із виявлення мікроструктурних характеристик матеріалів плануру, що використовуються під час виготовлення баражуючого боєприпасу

«Shahed-136», хімічного складу та мікроструктурних характеристик металів, що були використані для виготовлення складових крилатих та авіаційних ракет та інших уламків ОВТ рф.

Для подальшого аналізу матеріалів створюються онтологічні мережецентричні площадки експертного оцінювання, які на основі використання засобів штучного інтелекту забезпечують дослідження інших характеристик і властивостей матеріалів. В їхньому середовищі ідентифікуються конструкції спеціального призначення та реалізується систематизація завдань (рис. 5). Залишаючись у рамках спеціальних знань експерта-матеріалознавця, дослідження матеріалів, з яких складаються фрагменти засобів ураження, що зазнали впливу значних і найчастіше знакозміних температур, тисків, перевантажень при застосуванні, потребує залучення якісно нових методів, схем аналізу.

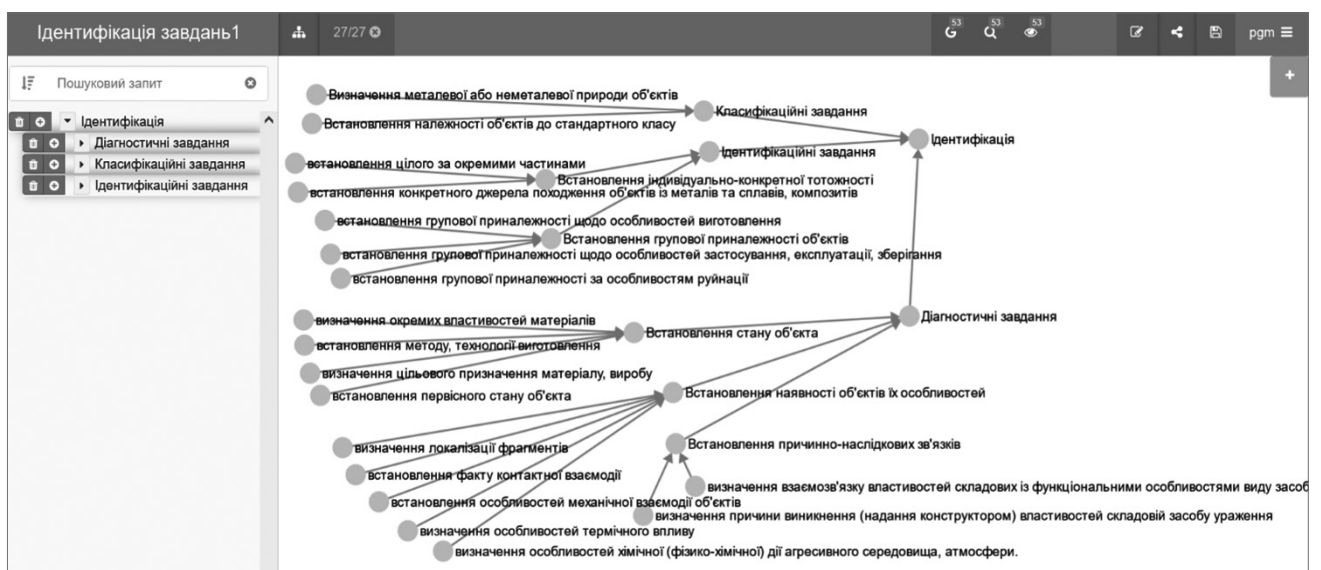
У подальшому на основі онтологічної бази знань реалізуються когнітивно-комунікативні сценарії взаємодії з консолідованими науковими наративами, множини концептів результатів досліджень матеріалів конструкцій



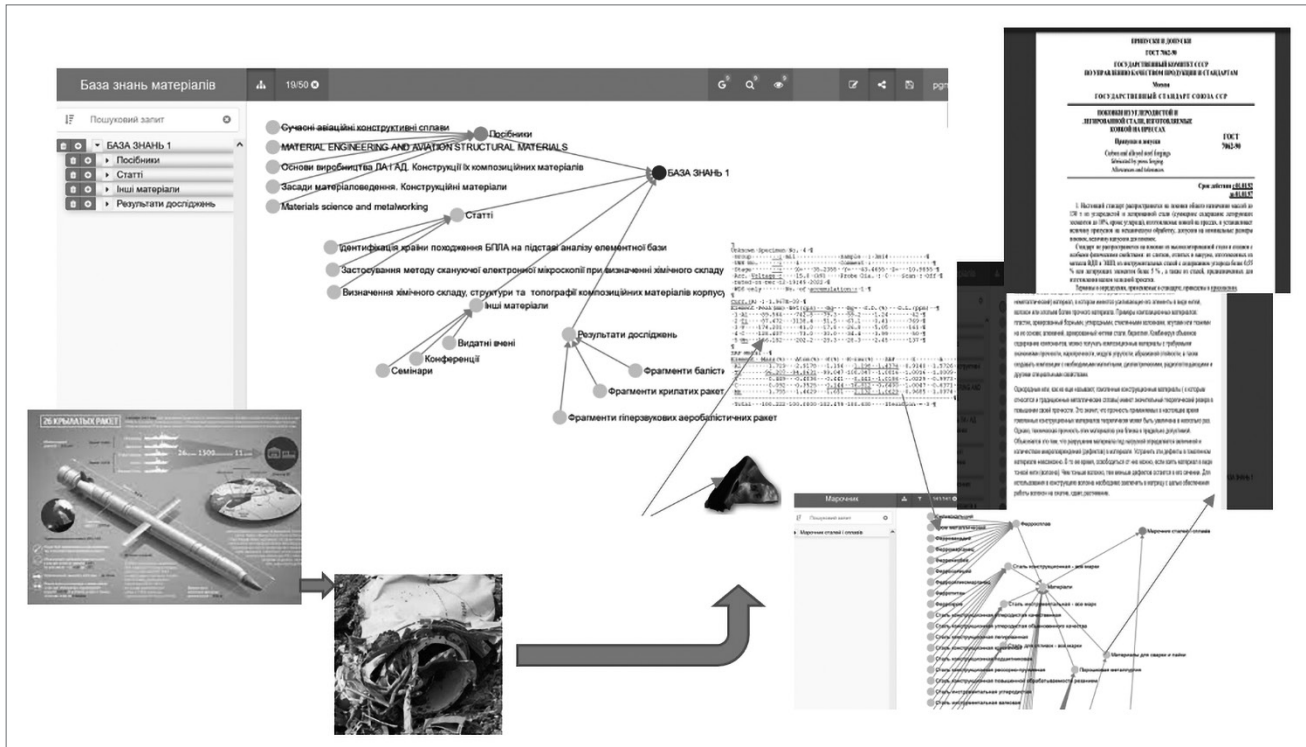
Р и с . 3. Онтологічне представлення бази знань про матеріали конструкцій спеціального призначення



Р и с . 4. Онтологічне представлення марочника сталі та сплавів



Р и с . 5. Онтологічне представлення завдань ідентифікації сталі та сплавів [17]



Р и с . 6. Онтологічне представлення порядку аналізу матеріалів конструкцій спеціального призначення у форматі активної системи знань

яких знаходяться в операціональному полі площадок експертного оцінювання. Це створює технологічні умови для консолідації наукових нарративів, які описують аналіз матеріалів спеціального призначення, на засадах яких формуються системи знань, що динамічно об'єднують факти із різних нарративів за різними тематичними профілями. Консолідація утворюється на основі міжконтекстних відношень, що встановлюються між концептами таксономій нарративів, й є основою формування платформи єдиного інформаційного середовища для досліджень матеріалів.

За результатами аналізу розробляються рекомендації та пропозиції щодо використання результатів досліджень і формування бази знань.

Відповідно до розробленого науково-методичного апарату продемонстровано його використання на прикладі оброблення результатів досліджень матеріалів фрагментів складових частин ракет рф, а саме – ЗМ-14, фрагменти якої за результатами оброблення спільних характеристик наведено на рис. 6. Створені онтології консолідуються за властивостями матеріалів, які використані у виробництві різних складових корпусів ракет.

Отже, незалежно від того, з якого концепту наукового нарративу експерт починає свої дослідження їх змісту, онтологія реалізує семантичний протокол взаємодії з усіма контекстами нарративів, які йому необхідні, у форматі когнітивно-комунікативного е-сценарію.

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень доведено, що:

– ефективність інформаційно-аналітичної діяльності експертів у процесі ідентифікації конструкцій спеціального призначення на основі аналізу результатів дослі-

джень їх матеріалів залежить від оперативності та семантичної цілісності відображення її функціональних та матеріалознавчих характеристик. Для цього забезпечується агрегативне представлення необхідної інформації, яка відображається у нарративах, як пасивних форматах відображення знань;

– для підвищення оперативності дослідження, валідності і достовірності отриманих результатів розроблено науково-методичний апарат ідентифікації матеріалів конструкцій спеціального призначення, побудований на засадах трансдисциплінарної консолідації нарративів, які містять описи об'єктів аналізу;

– створені онтологічні мережецентричні площадки експертів дозволяють агрегативно ідентифікувати матеріали конструкцій спеціального призначення різних видів. При цьому виконується умова необхідності формування єдиного інформаційно-аналітичного простору із використанням принципу відкритих таксономій.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Тренди в науці та технологіях 2020-2040. Про що свідчать дослідження НАТО. https://opk.com.ua/Про_що_свідчать_тренди. [Електронний ресурс]. – Дата звернення: 25.07.2024.
2. Nicolescu, B. (2008). Transdisciplinarity – Theory and Practice. Hampton Press, Cresskill, NJ, USA. 320 p.
3. Transdisciplinary Engineering: Crossing Boundaries. Editors Milton Borsato, Nel Wognum, Margherita Peruzzini, Josip Stjepandić, Wim J.C. Verhagen. Series Advances in Transdisciplinary Engineering. 2016. Vol. 4.
4. Palagin, A. (2014). Transdisciplinarity, computer science and development of modern civilization. Bull. of the Nat. Acad. of Sciences of Ukraine. K.: NAS of Ukraine. No. 7. Pp. 25–33.

**Bogdanov V.L., Chepkov I.B., Stryzhak O.Ye,
Odnoralov I.V., Potapov H.M., Kuchinsky A.V.**

**SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPARATUS
FOR THE ANALYSIS OF MATERIALS OF SPECIAL
PURPOSE STRUCTURES USING ELEMENTS OF
ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

The article presents the results of research on the development of a scientific and methodological apparatus, which allows to identify samples of structural elements based on the results of the analysis. Identification is carried out on the basis of the use of knowledge bases of the development of materials for special purpose structures. The scientific and methodological apparatus is built using the capabilities of cognitive information technology and elements of artificial intelligence. The scientific and methodological apparatus was created using the capabilities of cognitive information technology and services developed for this purpose, which include ontological-semantic and ontological-analytical groups. The specified groups of services allow the implementation of semantic-linguistic and conceptual analysis of large volumes of information, namely: natural language narratives, documents and tabular data, identification of consolidated logistic connections between them, evaluation criteria and decision-making support for the study of special-purpose constructions.

Keywords: *multivariate analysis, selection problem, information resources, consolidation, conceptography, special purpose structures, ontology, transdisciplinarity, taxonomy, artificial intelligence.*

Відомості про авторів:

Богданов В'ячеслав Леонідович

академік НАН України, доктор фізико-математичних наук
Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9864-9120>

Чепков Ігор Борисович

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор
начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

Стрижак Олександр Євгенійович

доктор технічних наук, головний науковий співробітник
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2481-2877>

Одноралов Ігор Васильович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7151-3175>

Потапов Григорій Михайлович

кандидат військових наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

Кучинський Андрій Володимирович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1687-9393>

Information about the authors:

Bogdanov Viacheslav

Academician of the NAS of Ukraine, Doctor of Physics and Mathematics
Institute of Mechanics named S.P. Tymoshenko of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9864-9120>

Chepkov Igor

Corr. Member NASU, Doctor of Technical Sciences
Professor,
Chief of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

Stryzhak Oleksandr

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

Odnoralov Igor

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7151-3175>

Potapov Hrihorii

Candidate of Military Sciences, Senior Researcher
Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

Andrii Kuchinsky

Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist, Doctoral Student
Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1687-9393>

Стаття надійшла до редколегії 02.08.2024.