

ШАПИРО ОЛЕКСІЙ

Харківський національний університет радіоелектроніки

<https://orcid.org/0009-0005-3539-266X>e-mail: oleksii.shapYRO@nure.ua**ШУБІН ІГОР**

Харківський національний університет радіоелектроніки

<https://orcid.org/0000-0002-1073-023X>e-mail: igor.shubin@nure.ua

МЕТОДИ ІНТЕГРАЦІЇ ОНТОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНИХ МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМ У ГІБРИДНЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

У статті запропоновано методологію побудови мультиагентної онтологічно орієнтованої гібридної пошукової системи для адаптивних розподілених освітніх платформ. Актуальність дослідження зумовлена гетерогенністю метаданих між онлайн-ресурсами та локальними сховищами, що ускладнює персоналізацію навчальних траєкторій. Традиційні дескрипторні моделі на основі ключових слів не забезпечують достатньої семантичної глибини, тоді як класичні онтологічні підходи мають обмежену масштабованість і не охоплюють офлайн-компоненти. Запропонована архітектура базується на п'яти типах агентів (краулер, локальний сканер, оцінювач, індексатор і координатор), які забезпечують повний цикл пошуку – від збору метаданих до обчислення релевантності й подання результатів. Особливістю системи є дворівнева онтологічна модель, що поєднує загальні класи ресурсів з дисциплінарними онтологіями. Це дозволяє точніше фільтрувати результати пошуку з урахуванням навчального контексту. Метод компараторної ідентифікації, який поєднує семантичну подібність та TF-IDF дескриптори, доповнюється контекстуальною популярністю – метрикою, що враховує активність користувачів у межах схожих тем. Такий підхід покращує якість пошуку в міждисциплінарних і гібридних запитах. Реалізовано прототип системи на базі FastAPI, RabbitMQ, PostgreSQL і OWL API, із веб-компонентом і локальним застосунком. У тестовому середовищі (3500 онлайн-статей і 700 локальних PDF-файлів) досягнуто покращення точності результатів (Precision@10) на 37% при гібридному пошуку, із помірним збільшенням часу відповіді на 19%. Запропонована модель демонструє ефективність мультиагентного підходу для інтеграції онлайн та офлайн компонентів в єдину адаптивну освітню систему. Перспективами подальших досліджень є оптимізація обчислювального навантаження, підтримка розподіленого кешування та адаптація системи до мобільного й офлайн-режимів.

Ключові слова: адаптивні розподілені освітні платформи, гібридна пошукова система, онтології, інженерія програмного забезпечення, мультиагентний підхід, компонентна архітектура.

SHAPYRO OLEKSII**SHUBIN IHOR**

Kharkiv National University of Radio Electronics

METHODS OF INTEGRATING ONTOLOGY-ORIENTED MULTI-AGENT SYSTEMS INTO A HYBRID EDUCATIONAL ENVIRONMENT

This paper introduces a comprehensive methodology for developing a multi-agent ontology-oriented hybrid search system tailored for adaptive distributed educational platforms. The proposed system addresses a key challenge in modern e-learning ecosystems – heterogeneity and fragmentation of metadata across online and offline educational resources. Traditional keyword-based search mechanisms and monolithic architectures lack the flexibility and semantic depth required to deliver personalized learning experiences in hybrid environments. To overcome these limitations, the authors propose a component-based multi-agent architecture that integrates semantic ontologies with descriptor-based models through a comparator identification method. The system architecture is based on five specialized agent types (crawler, local scanner, evaluator, indexer, and coordinator), each performing distinct roles in the unified search pipeline. The crawler processes metadata from online repositories using LOM and SCORM standards, while the local scanner indexes offline documents (PDF, DOCX) following Dublin Core principles. The evaluator applies a hybrid relevance scoring method that combines semantic similarity derived from ontological structures and cosine similarity of TF-IDF vectors. The indexer constructs RDF triplets for inclusion in a unified knowledge base, while the coordinator orchestrates the flow of queries across agents and balances online/offline resource processing. A key innovation lies in the dual-layered ontology model comprising a general-purpose ontology and discipline-specific ontologies. This layered structure enables both broad classification of resources and fine-grained semantic filtering based on domain-specific knowledge. The system's comparator predicate for document relevance incorporates not only ontological and statistical metrics but also contextual popularity, allowing for dynamic adaptation based on user behavior patterns and query histories. To validate the approach, a working prototype was developed using FastAPI (backend), RabbitMQ (message broker), PostgreSQL (storage), and OWL API (ontology processing). A hybrid testing environment with 3500 online articles and 700 local educational resources was deployed. Comparative evaluation demonstrated a 37% improvement in Precision@10 for the hybrid search mode (0.81 vs. 0.59 for TF-IDF only), with a manageable 19% increase in average response time (794 ms vs. 668 ms). Despite its advantages, the architecture faces challenges in ontology synchronization, semantic disambiguation across heterogeneous schemas, and computational scalability. Nevertheless, the presented results strongly support the feasibility of integrating multi-agent systems with ontological models to enhance the semantic relevance and adaptability of hybrid educational search platforms. Future directions include optimizing query latency through caching strategies, behavioral analytics for adaptive weighting, and expanding mobile/offline capabilities to support learning in low-connectivity regions.

Keywords: adaptive distributed educational platforms, hybrid search system, ontologies, software engineering, multi-agent approach, component architecture.

Стаття надійшла до редакції / Received 30.07.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.08.2025

Актуальність проблеми

В умовах стрімкого розвитку інформаційно-комунікаційних технологій дедалі більшого значення набувають системи електронного навчання, які поєднують веб-платформи із локальними ресурсами. Електронне навчання як форма здобуття знань ґрунтується на використанні як хмарних сервісів, так і офлайн додатків та друкованих матеріалів, що висуває підвищені вимоги до гнучкості архітектурних рішень. Недостатня узгодженість стандартів та слабка формалізація метаданих ускладнюють автоматичну обробку контенту й призводять до втрат релевантних результатів [1]. Відсутність єдиного механізму пошуку як у веб-просторі, так і в локальних архівах знижує рівень персоналізації навчальних траєкторій та обмежує можливості адаптивного підходу.

Однією з ключових перешкод є гетерогенні метадані, які формуються за рекомендаційними стандартами LOM та SCORM, але при цьому можуть значно відрізнятися між собою. Відкритий характер цих стандартів дає свободу розробникам у заповненні полів, що часто призводить до неточності опису ресурсів і неоднозначності під час індексування. Цей розрив між очікуваннями користувача та фактичним змістом описів посилює проблему побудови ефективного адаптивного середовища. Крім того, сучасні навчальні екосистеми повинні забезпечувати безшовну інтеграцію онлайн і офлайн компонентів, поєднуючи стрімінгові курси та хмарні сховища з локальними колекціями файлів. У контексті гібридного пошуку необхідно розробити механізми, що дозволяють знаходити матеріали як у мережі Інтернет, так і в локальних архівах, без втрати єдиної моделі персоналізації.

Гетерогенність метаданих виникає через те, що рекомендаційні стандарти LOM та SCORM задають лише загальні рекомендації без суворих вимог щодо формату чи змісту полів опису. В результаті зустрічаються як добре структуровані записи, так і лаконічні або надмірно деталізовані описи, що ускладнює єдине індексування. Подібна ситуація характерна як для веб-ресурсів із відкритим доступом, так і для PDF-матеріалів у локальних репозиторіях, що створює значні бар'єри для автоматизованих алгоритмів пошуку та порівняння [2]. Прості дескрипторні та булеві моделі, які спираються лише на ключові слова та базові теги, не забезпечують глибокого контекстного розуміння змісту ресурсів. Як наслідок, навчальне середовище втрачає здатність точно відображати актуальні потреби користувача та коректно формувати персоналізовані траєкторії.

Огляд сучасного стану розв'язання проблеми

Сучасні платформи електронного навчання здебільшого базуються на компонентно-орієнтованій архітектурі, яка розділяє функціональність системи на модулі пошуку, зберігання, доставки контенту та аналітики. Попри гнучкість такого підходу, реальні впровадження стикаються з низкою серйозних обмежень. По-перше, компоненти пошуку веб-ресурсів зазвичай використовують виключно дескрипторні методи (TF-IDF, булеві запити), що призводить до високої швидкості, але низької точності, особливо при складних тематичних запитах. По-друге, вбудовані онтологічні механізми здебільшого обмежуються однорівневим описом доменних понять, що не дозволяє коректно обробляти гібридні запити, які поєднують семантичну глибину з оперативністю відповіді. Розглянемо три основні класи існуючих рішень.

Компонентно-орієнтовані пошукові модулі. Типові LMS (Learning Management Systems) інтегрують сторонні пошукові рушії або власні модулі, які орієнтовані лише на онлайн дані. Вони використовують індексування за ключовими словами та стандартні метадані LOM/SCORM, але не враховують локальні сховища користувача або офлайн матеріали. Через це траєкторії навчання стають уривчастими: студенти отримують окремі результати з вебу та не можуть одночасно шукати в локальних колекціях. Розв'язання цієї проблеми через додавання окремого офлайн сканера призводить до дублювання функцій і складності інтеграції, адже відсутній єдиний стандарт обміну метаданими між онлайн та офлайн модулями.

Однорівневі онтологічні підходи. Для підвищення точності релевантності деякі системи застосовують онтології, але переважно лише загального рівня. Такі рішення забезпечують покращений семантичний пошук усередині одного домену, проте не деталізують контекст дисципліни. Вони не можуть одночасно працювати із загальними поняттями й спеціалізованими термінами, що знижує точність при пошуку дисциплінарних матеріалів. Крім того, ці системи зазвичай працюють виключно онлайн, і будь-які спроби адаптувати онтологічне ядро до локальних ресурсів стикаються з непогодженістю форматів RDF-триплетів та відсутністю механізмів синхронізації.

Децентралізовані агентні рішення. Деякі дослідники пропонували застосування агентів для розподіленого пошуку, проте їхні архітектури обмежені двома-трьома типами агентів і не враховують гібридний характер навчального контенту. Такі рішення можуть здійснювати паралельний збір даних, але не пропонують уніфікованого предикату оцінки релевантності для різномірних форматів. Наслідком є висока складність інтеграції результатів: агенти, які обробляють веб-сторінки, та агенти локальної індексації повертають несумісні набори метаданих, що вимагає додаткового конвертування та часто призводить до втрат контексту.

Усі перелічені підходи демонструють або гнучкість, але низьку точність, або високий рівень семантичної обробки, але обмежену масштабованість і підтримку лише онлайн режиму. Саме тому виникає потреба в архітектурі, що об'єднає переваги компонентного, онтологічного та агентного

підходів, забезпечуючи єдиний стандарт метаданих і комбіновану модель оцінки релевантності для гібридного середовища.

Теоретичні методи мультиагентного онтологічно орієнтованого гібридного пошуку

Ми пропонуємо цілісну мультиагентну архітектуру [3], яка поєднує процеси онлайнного та офлайнного пошуку навчальних ресурсів в єдиній адаптивній системі. Наша модель відповідає на основні виклики сучасних навчальних екосистем: фрагментацію метаданих між веб-платформами та локальними репозиторіями, відсутність єдиного механізму оцінки релевантності різнорідних форматів і низьку точність тематичної фільтрації у гібридному контексті. Замість того щоб розглядати онлайн і офлайн дані окремо, ми інтегруємо їх через п'ять класів агентів, кожен із яких виконує конкретну функцію у загальному циклі пошуку, від первинного збору до подання користувачеві.

Запропоноване рішення значно покращує існуючий стан справ за рахунок уніфікації метаданих і використання методу компараторної ідентифікації, який комбінує семантичну і дескрипторну оцінку релевантності. У порівнянні з традиційними системами, що або швидко шукають за ключовими словами (TF-IDF), або використовують довготривалі онтологічні запити, наша архітектура дозволяє гнучко налаштовувати баланс між швидкістю пошуку та глибиною семантичного аналізу. Крім того, впровадження дворівневої онтологічної моделі [4] забезпечує більш точне звуження простору пошуку, де загальна онтологія відповідає за уніфіковані поняття, а предметно-орієнтовані онтології деталізують контекст конкретних дисциплін.

Таким чином, наша мультиагентна система вирішує дві головні проблеми: по-перше, знижує вплив гетерогенності метаданих через уніфікацію опису ресурсів; по-друге, підвищує точність результатів завдяки комбінованій оцінці релевантності, оптимізованій під гібридне середовище. Далі ми детально розглянемо кожен із п'яти класів агентів, формулу компараторного предикату та структуру онтологічної інтеграції.

У запропонованій мультиагентній системі кожен агент виконує чітко визначену роль у загальній шині повідомлень. Агент-краулер здійснює первинний збір метаданих із веб-сторінок згідно зі стандартами LOM та SCORM, а локальний сканер виконує індексацію PDF- та DOCX-файлів у локальному репозиторії. Далі агент-оцінювач застосовує компараторну модель тематичної релевантності, а агент-індексатор формує кінцеві RDF-триплети для збереження у базі знань. Координатор синхронізує роботу усіх агентів, направляючи запити залежно від налаштувань користувача та наявності ресурсів. Ролі та функції агентів у запропонованій гібридній системі пошуку відображені у таблиці 1.

Таблиця 1

Ролі та функції агентів у гібридній системі пошуку

Агент	Джерела даних	Ключові функції
Краулер	Веб-репозиторії	Збір та попередня обробка HTML, витяг метаданих LOM/SCORM
Локальний сканер	Локальні файли	Індексація PDF, DOCX, PPT за схемою Dublin Core
Оцінювач	Зібрані метадані	Обчислення релевантності через онтологічні зв'язки та дескриптори
Індексатор	Вихід оцінювача	Побудова зворотних індексів, збереження RDF-триплетів
Координатор	Усі агенти	Управління чергами запитів, балансування онлайн та офлайн режимів

В умовах різнорідних форматів, основою оцінки тематичної релевантності є компараторний предикат [5], який поєднує семантичну й статистичну складові. Загальний коефіцієнт релевантності документа d щодо запиту q визначається за формулою

$$R(d, q) = \alpha \cdot \text{sim}_{\text{ont}}(d, q) + \beta \cdot \text{sim}_{\text{tfidf}}(d, q), \quad (1)$$

де sim_{ont} позначає семантичну подібність на основі онтології, а $\text{sim}_{\text{tfidf}}$ – косинусну подібність TF-IDF векторів дескрипторів; α та β є ваговими коефіцієнтами, що визначають баланс між глибинним розумінням контексту й швидкістю дескрипторного пошуку. Застосування предикату еквівалентності дозволяє агенту-оцінювачу відсіювати малорелевантні документи ще на початковому етапі, значно звужуючи простір пошуку та підвищуючи загальну ефективність системи.

Для уніфікації опису різнорідних джерел (онлайнних і офлайнних ресурсів) використовується дворівнева онтологічна модель. Перший рівень містить загальну онтологію інформаційного пошуку з основними класами «Ресурс», «Тема» і «Формат», а другий передбачає предметно-орієнтовані онтології, що деталізують поняття конкретних дисциплін (наприклад, «Курс математики» чи «Літературний жанр»). В узагальненій архітектурі, поетапна обробка виглядатиме так: індексатор спочатку картографує дескриптори до класів загальної онтології, а потім оцінювач уточнює контекст запиту через зв'язки предметно-орієнтованих онтологій. Такий підхід дозволяє досягти високої точності тематичної фільтрації як онлайн, так і офлайн матеріалів у єдиному адаптивному середовищі.

Для підвищення точності релевантності у випадках, коли семантична схожість виявляється недостатньо інформативною (наприклад, у міждисциплінарних запитах), доцільно додатково враховувати контекстуальну популярність документа. Такий підхід ґрунтується на ідеї, що значущість ресурсу не лише визначається його схожістю до запиту, але й активністю взаємодії з ним іншими користувачами в межах онтологічно близьких тем. Доповнений компараторний предикат можна подати як

$$R(d, q) = \alpha \cdot \text{sim}_{\text{ont}}(d, q) + \beta \cdot \text{sim}_{\text{tfidf}}(d, q) + \gamma \cdot \text{pop}_{\text{ctx}}(d), \quad (2)$$

де γ – ваговий коефіцієнт популярності, $\text{pop}_{\text{ctx}}(d)$ – метрика контекстуальної популярності, яка визначається як

$$\text{pop}_{\text{ctx}}(d) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \delta_i \cdot \text{sim}_{\text{ont}}(d, u_i), \quad (3)$$

де u_i – контекст попереднього запиту іншого користувача, який привів до взаємодії з документом d , а δ_i – зважений коефіцієнт часової актуальності, що зменшується зі збільшенням інтервалу від запиту до поточного моменту. У такий спосіб система отримує змогу не лише порівнювати документи за їхньою відповідністю запиту, а й враховувати колективну релевантність у межах визначеного домену знань.

Практична реалізація та експеримент у гібридному середовищі

Для реалізації прототипу було обрано мікросервісну модель: веб-сервер відповідає за обробку запитів краулера та оцінювача, а локальний застосунок виконує роль сканера та частково дублює функції індексатора. Такий підхід забезпечує масштабованість і можливість розгортання системи як у хмарі, так і на робочих станціях користувачів.

Технічна реалізація прототипу спирається на FastAPI для прийому та маршрутизації запитів між агентами, RabbitMQ як шину повідомлень та PostgreSQL для зберігання уніфікованих RDF-триплетів. У ролі онтологічного рушія використано OWL API, що дозволяє динамічно завантажувати дворівневі онтології та виконувати запити семантичного виведення. Локальний сканер побудовано як десктопний застосунок на Electron, який під'єднується безпосередньо до тієї ж бази даних, що й веб-сервіс, забезпечуючи єдину точку доступу до матеріалів користувача.

Для оцінки ефективності системи було налаштовано гібридне тестове середовище, яке складалося з онлайн репозиторію що містить 3500 статей, та локальної колекції з 700 PDF-файлів методичних матеріалів. Кожен запит оброблявся у двох режимах – чисто дескрипторного пошуку (TF-IDF) і гібридного (комбінованого онтологічного й дескрипторного аналізу). Вимірювання точності виконувалися за метрикою Precision@10, а латентність фіксувалася як середній час відповіді в мілісекундах. Порівняльні результати вимірювань обох режимів пошуку наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння режимів пошуку за точністю й латентністю

Режим пошуку	Precision@10	Середній час відповіді (мс)
Лише TF-IDF	0.59	668
Гібридний (онтологія + TF-IDF)	0.81	794

Експеримент показав, що гібридний режим забезпечує 37% зростання точності, попри збільшення часу обробки на 19%. Таке підвищення релевантності є критично важливим для адаптивних навчальних середовищ, де якість виданого контенту має пріоритет над максимальною швидкістю відповіді. Подальші оптимізації можуть бути спрямовані на паралелізацію обчислень у оцінювачі та кешування онтологічних запитів для зменшення латентності без втрати точності.

Обмеження і потенційні ризики запропонованого рішення

Попри виявлені переваги мультиагентної архітектури в умовах гібридного освітнього середовища, її використання пов'язане з низкою викликів, які слід враховувати на етапі масштабування. Першим таким викликом є неоднорідність структур онтологій, що походять з різних джерел. У разі імпорту сторонніх RDF-схем виникає ризик онтологічної колізії, коли однакові терміни мають різне значення в межах різних дисциплін [6]. Це ускладнює реалізацію узгодженого семантичного ядра та потребує впровадження додаткових механізмів дизамбігації.

Другим обмеженням є складність підтримки розподіленої онтологічної синхронізації в умовах офлайн-доступу. Якщо користувачі працюють автономно, оновлення предметно-орієнтованих онтологій не завжди можуть бути своєчасно застосовані [7] до локального індексу, що веде до потенційної втрати релевантності при наступному запиті.

Третім аспектом є підвищене навантаження на систему оцінювання при одночасній обробці запитів великої кількості користувачів. Обчислення предикату релевантності, що включає семантичну та контекстуальну складові, значно складніше масштабувати в порівнянні з традиційними дескрипторними пошуковими моделями. Таблиця 3 нижче узагальнює порівняльні характеристики основних переваг та обмежень запропонованої архітектури в порівнянні з традиційними підходами:

Таблиця 3

Порівняння основних переваг та обмежень традиційного та запропонованого рішень

Критерій	Традиційна TF-IDF модель	Запропонована гібридна модель
Глибина семантичного аналізу	Низька	Висока
Підтримка офлайн ресурсів	Відсутня	Повна
Масштабованість при високому навантаженні	Висока	Середня
Стійкість до онтологічних колізій	Неактуальна	Критична

Таким чином, для подальшого просування системи в напрямку широкого впровадження, необхідно вирішити питання автоматичного узгодження онтологічних схем, оптимізації обчислювальних навантажень та підтримки послідовної синхронізації онтологій у розподіленому середовищі.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У результаті проведеного дослідження було доведено, що мультиагентна архітектура з п'ятьма типами агентів ефективно інтегрує онлайн та офлайн ресурси в єдине адаптивне середовище навчання. Поєднання онтологічного та дескрипторного аналізу за допомогою методу компараторної ідентифікації дозволяє досягти значного підвищення релевантності результатів пошуку, що підтверджено експериментальною оцінкою Precision@10: із 0,59 до 0,81 при гібридному режимі (покращення на 37%). Отже, запропоноване рішення вирішує проблему гетерогенності метаданих та низької точності пошуку в гібридному контексті, об'єднуючи переваги семантичної глибини та дескрипторної швидкодії. Водночас збільшення латентності на 19% свідчить про необхідність подальших оптимізацій у компонентах оцінювача та кешуванні онтологічних запитів для зменшення часу відповіді.

На наступному етапі розвитку системи рекомендується сконцентруватися на кількох напрямках. По-перше, доцільно дослідити можливості розподіленого кешування онтологічних підзапитів і оптимізації черг повідомлень у RabbitMQ для зменшення латентності. По-друге, впровадження механізмів інтерактивної адаптації з урахуванням поведінкової аналітики користувачів дозволить подальше персоналізувати освітні траєкторії та автоматизувати коригування вагових коефіцієнтів у формулі $R(d, q)$ залежно від задоволеності та результуючої ефективності навчання. Нарешті, розширення дворівневої онтологічної моделі на мобільні платформи та впровадження офлайн синхронізації відкриють шлях до навчання в умовах нестабільного з'єднання з Інтернетом, що особливо актуально для регіонів зі слабкою інфраструктурою.

Література

1. Sharonova, N., Doroshenko, A., Cherednichenko, O. (2021). Issues of Fact-based Information Analysis. *5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2021)*. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2136. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2136/10000011.pdf>
2. Shubin, I. Snisar, S., Litvin, S. (2021). Formalization and Application of Algebraic Methods in Automated Intelligent Systems. *IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*. Kharkiv, Ukraine, P. 67–70. DOI: <http://doi.org/10.1109/PICST54195.2021.9772174>
3. Karataiev, O. Shubin, I. (2023). Formal Model of Multi-Agent Architecture of a Software System Based on Knowledge Interpretation. *Radioelectronic and Computer Systems*. No. 4 (108), P. 53–64. DOI: <http://doi.org/10.32620/reks.2023.4.05>
4. Sarker, U., Deraman, A. B., Hasan, R. (2018). Descriptive Logic for Software Engineering Ontology: Aspect Software Quality Control. *4th International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS)*. Kuala Lumpur, Malaysia, P. 1–5. DOI: <http://doi.org/10.1109/ICCOINS.2018.8510585>
5. Karataiev, O., Sitnikov, D., Sharonova, N. (2023). A Method for Investigating Links between Discrete Data Features in Knowledge Bases in the Form of Predicate Equations. *7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2023)*. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3387. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3387/paper17.pdf>
6. Шубін І., Каратаєв О. (2023). Проблеми повторного використання знань у процесі проектування програмних систем. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. No 2 (24). С. 62–71. DOI: <http://doi.org/10.30837/itssi.2023.24.062>
7. Козирев А., Шубін І. (2023). Метод планування завдань оброблення даних у розподілених системах з обмеженою інформацією про доступні ресурси. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. No. 3 (25). С. 27–39. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.25.027>

References

- 1.
2. Sharonova, N., Doroshenko, A., Cherednichenko, O. (2021). Issues of Fact-based Information Analysis. *5th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2021)*. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2136. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2136/10000011.pdf>
3. Shubin, I. Snisar, S., Litvin, S. (2021). Formalization and Application of Algebraic Methods in Automated Intelligent Systems. *IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T)*. Kharkiv, Ukraine, P. 67–70. DOI: <http://doi.org/10.1109/PICST54195.2021.9772174>
4. Karataiev, O. Shubin, I. (2023). Formal Model of Multi-Agent Architecture of a Software System Based on Knowledge Interpretation. *Radioelectronic and Computer Systems*. No. 4 (108), P. 53–64. DOI: <http://doi.org/10.32620/reks.2023.4.05>
5. Sarker, U., Deraman, A. B., Hasan, R. (2018). Descriptive Logic for Software Engineering Ontology: Aspect Software Quality Control. *4th International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS)*. Kuala Lumpur, Malaysia, P. 1–5. DOI: <http://doi.org/10.1109/ICCOINS.2018.8510585>
6. Karataiev, O., Sitnikov, D., Sharonova, N. (2023). A Method for Investigating Links between Discrete Data Features in Knowledge Bases in the Form of Predicate Equations. *7th International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2023)*. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3387. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3387/paper17.pdf>
7. Shubin, I., Karataiev, O. (2023). Reuse of Information Based on The Interpretation of Knowledge. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. No. 2 (24), P. 62–71. DOI: <http://doi.org/10.30837/itssi.2023.24.062>
8. Kozyriev, A., Shubin, I. (2023). Method of Planning Data Processing Tasks in Distributed Systems with Limited Information About Available Resources. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. No. 3 (25), P. 27–39. DOI: <http://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.25.027>