

CHOICE OF HIERARCHY AND ONTOLOGY OF THE TOP LEVEL FOR THE DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL AUTOMATED CONTROL SYSTEMS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

L. Vlasenko, T. Savchenko

Kyiv National University of Trade and Economics

N. Lutska

National University of Food Technologies

Key words:

*Intelligent automated control system
Ontology
Ontological layering
Concepts
Data
Knowledge*

Article history:

Received 13.07.2021
Received in revised form 19.07.2021
Accepted 10.08.2021

Corresponding author:

L. Vlasenko
E-mail:
vlasenko.lidia1@gmail.com

ABSTRACT

The article focuses on a choice of hierarchy and ontology of the top level for the development of intellectual automated control systems for industrial enterprises. Due to the development of information and cloud technologies, the problem of storing large data sets has been partially solved, but the quality and speed of their processing remains an urgent task. Automation of all levels of enterprise management, integration of systems for different purposes (monitoring, forecasting, diagnosis, quality management, decision support, etc.), operating on the basis of modern approaches, increase the amount and diversity of information and knowledge to work with. Data harmonization with different characteristics allows the use of ontologies. That is why today there is a rapid development of this area.

Construction of an intellectual automated control systems for industrial enterprises requires consideration and coordination of various tasks, requirements, restrictions, relations and features of functioning and interaction of its elements. To create a system with minimal errors, there is need to choose the right concept. The use of ontologies of different levels will allow to define and introduce the basic concepts and relations between them for the subject area at the top level with constant refinement, detailing in classes, subclasses, concepts at lower levels. The article presents an analysis of the existing successful variants of hierarchies of ontologies implemented in various areas. Based on the analysis of ontology hierarchies, the criteria are proposed according to which it is expedient to choose the number of levels and the type of ontology that will be developed. Summary data on the main ontologies of the top level are given, indicating the possibility of their integration with other ontologies, logics, languages, dictionaries, specifications. As a result, the structure of the ontology of the intellectual automated control systems for industrial enterprises is given.

ВИБІР ІЄРАРХІЇ ТА ОНТОЛОГІЇ ВЕРХНЬОГО РІВНЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ

Л. О. Власенко, Т. В. Савченко

Київський національний торговельно-економічний університет

Н. М. Луцька

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена вибору ієрархії онтології для розробки інтелектуальної автоматизованої системи управління промисловим підприємством. У зв'язку з розвитком інформаційних і хмарних технологій частково вирішена проблема зберігання великих масивів даних, але якість та швидкість їх обробки залишається актуальним завданням. Автоматизація всіх рівнів управління підприємством, інтегрування систем різного призначення (моніторингу, прогнозування, діагностування, керування якістю, підтримки прийняття рішень тощо), що функціонують на основі сучасних підходів, примножують кількість і різноманітність інформації та знань, з якими доводиться працювати. Узгодження даних з різними характеристиками дає змогу використовувати онтології. Саме тому на сьогодні спостерігається стрімкий розвиток цього напрямку.

Побудова інтелектуальної автоматизованої системи керування промисловим підприємством вимагає врахування й узгодження різноманітних задач, вимог, обмежень, відношень та особливостей функціонування і взаємодії її елементів. Для створення системи з мінімальною кількістю помилок необхідно обрати правильну концепцію. Застосування онтологій різних рівнів дасть змогу визначити та ввести основні поняття та відношення між ними для предметної області на верхньому рівні з постійним уточненням, деталізацією у класах, підкласах, концептах на більш низьких рівнях. У статті наведено аналіз існуючих вдалих варіантів ієрархій онтологій, що реалізовані в різних галузях.

На основі проведеного аналізу ієрархій онтологій запропоновано критерії, за якими доцільно проводити вибір кількості рівнів та виду онтологій. Наведено зведені дані щодо основних онтологій верхнього рівня із зазначенням можливості їх інтеграції з іншими онтологіями, логіками, мовами, словниками, специфікаціями. Як результат, розроблено структуру онтології інтелектуальної автоматизованої системи управління виробничим підприємством.

Ключові слова: *інтелектуальна автоматизована система керування, онтологія, рівні онтологій, концепти, дані, знання.*

Постановка проблеми. В умовах діджиталізації не тільки промисловості, а й усіх сфер життя людини, стрімкого розвитку Інтернету речей, об'єктивної необхідності у створенні і повсюдному впровадженні цифрових двійників виникла проблема роботи з великими масивами різноманітної інформації, що може бути представлена не тільки в різних одиницях вимірювання, але й мати різне представлення — цифрове, графічне, вербальне тощо. Іншою проблемою є по-

еднання цих даних між собою. У зв'язку з активним розвитком автоматизації різних рівнів виробництва та розробкою і впровадженням великої кількості інтелектуальних автоматизованих систем керування різного призначення з метою підвищення ефективності функціонування підприємств виникає проблема виділення оптимальних оперативних об'єктів максимально інформативних даних з усієї інформації, що функціонує в його межах.

Останнім часом, як варіант вирішення означених вище проблем, розвивається підхід, що ґрунтується на використанні онтологій. Роботи з розробки онтологічних понять, визначень, методологій тощо велись ще наприкінці XX ст. (Guarino, 1998), але активний розвиток припадає на XXI ст., що пов'язано передусім з розвитком Інтернету та пошукових ресурсів, вимогою до яких є отримання точної, оперативної та надійної інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні не існує єдиного уніфікованого поділу онтологій на рівні. У наукових працях запропоновано обґрунтовані варіанти виділення різних рівнів онтологій залежно від вирішуваних задач і проблемних областей. Зазвичай, виділяються типи онтологій, що включають формальні онтології, онтології верхнього рівня, проміжні онтології, онтології середнього рівня, регіональні онтології, онтології нижнього рівня, онтології предметної області, онтології матеріалів, довідкові і прикладної онтології. Крім того, часто в різних варіантах ієрархії онтології можуть мати приблизно однакову назву, але різне призначення і область застосування. В статті наведено основні найпоширеніші та застосовувані ієрархії онтологій, що існують сьогодні, залежно від завдань промислового призначення, які вирішуються. Крім того, існують різні підходи до розбиття онтологій на рівні. Більшість онтологій мають ієрархію, що залежить від рівня абстракції. Нижче наведені найпоширеніші варіанти.

Необхідність розділення онтологій на різні рівні виникла у зв'язку зі складністю задач та їх типів. Зокрема, на рис. 1 представлено два напрями розвитку ієрархій (Guarino, 1998). Переважна більшість онтологій складається з онтології верхнього рівня (Top-level Ontology, Upper Ontology), які описують дуже загальні концепти, що не залежать від конкретної проблемної області. Тому онтології верхнього рівня розвиваються узагальненими і абстрактними для великих і різнонаправлених груп користувачів.

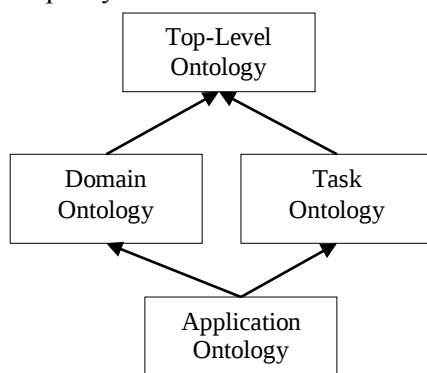


Рис. 1. Загальна стратегія розробки онтологій

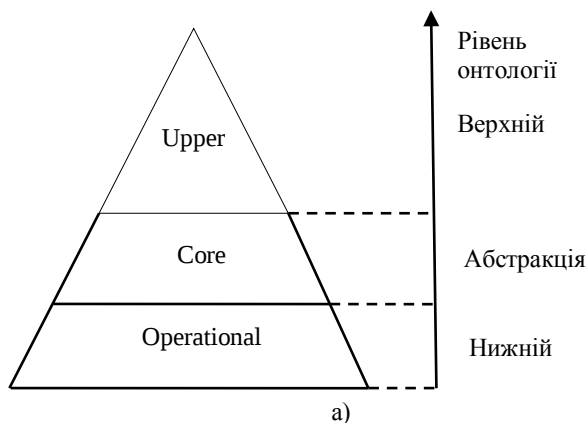
На другому рівні онтології представлені онтології предметної області (Domain Ontology) або онтології задач (Task Ontology). Онтології предметної області та онтології задач описують, відповідно, словник, пов'язаний із загальною предметною областю або спільним завданням чи діяльністю, відповідно, шляхом спеціалізації й уточнення термінів, представлених в онтології верхнього рівня.

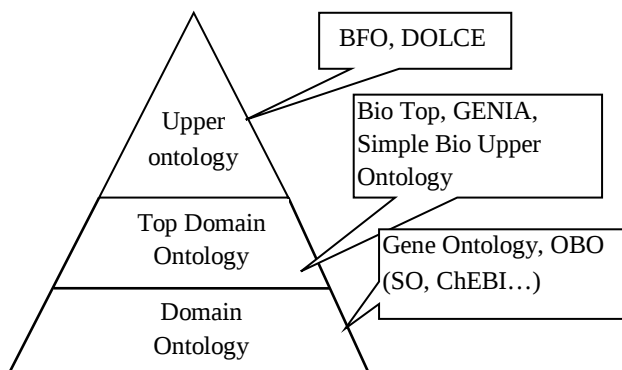
На нижньому рівні прикладні онтології описують концепти, що залежать як від конкретної області, так і від завдання, які часто є уточненнями обох зв'язаних онтологій. Ці концепти часто відповідають ролі, що виконується об'єктами предметної області при виконанні певної дії, наприклад, змінного блоку або запасного компонента.

Фактично більшість онтологій розвиваються по лівій гілці (рис. 1). Онтологію задач часто включають або в рівень онтологій предметної області, або в прикладні онтології.

На рис. 2 а представлена трирівнева онтологія на основі семантичної мережі і RDF-ресурсів, що залежить від рівня абстракції. В (Ziemer, 2003) наведено результат роботи групи замовників і розробників для задачі узгодження фінансових і юридичних питань. У цій ієрархії виділяється верхній рівень, що має назву Upper foundation або онтології верхнього рівня (Top-level), абстрактний рівень або рівень ядра (Core), предметний (Domain) і нижній рівень операційний (Operational) або субпредметний (Sub-domain).

Онтологія верхнього рівня в цій структурі описує дуже загальні концепції, однакові для всіх галузей знань. Верхній рівень може бути представлений такими відомими варіантами, як BFO, GFO, DOLCE, SUMO. Метою предметної онтології є глобальна модель, в яку передаються та інтегруються дані з різних джерел. Вона застосовується до певної галузі: біології, медицини, юриспруденції, фінансів тощо. Операційна онтологія є фактичною реалізацією базової онтології.





б)

Рис. 2. Ієрархія онтологій: а) трирівнева на основі семантичної мережі і RDF-ресурсів;
б) трирівнева, розроблена для біологічної області

На рис. 2 б наведено трирівневу ієрархію, розроблену для вирішення задачі в біологічній області (Stenzhorn, 2007). Онтології для біологічної та медичної областей найбільш розроблені на сьогодні, тому при побудові прикладної онтології для такої галузі науковці мають можливість використати велику кількість онтологій різних рівнів, що знаходяться у вільному доступі.

Онтології верхнього рівня Upper Ontology, до якого відносяться відомі онтології BFO, DOLCE, окреслюють дуже обмежений загальний понятійний апарат, але містять темпоральну частину.

Онтології середнього рівня або онтології «верхнього домена» для рис. 2 б представлені онтологіями Bio Top (Beisswanger, Schulz & Hahn, 2008), GENIA що виконують роль базових словників біомедицини та молекулярної біології, відповідно, з однозначними визначеннями основних сутностей та описами фактів зазначених галузей. Ці сутності уточнюються та розбиваються на класи на нижньому рівні — домени. Фактично онтологія верхнього домена є певною зв'язкою, яка включає основні класи базової області для взаємодії як з онтологіями верхнього рівня, так і з онтологіями домену.

Кількість онтологій предметної області для будь-якої галузі необмежені і залежать від складності поставленої задачі та об'єму онтології, що застосовується. Для біомедичної сфери предметна область на сьогодні одна з найбільш описаних. Найвідоміші онтології предметної області включають онтологію геному Gene, велику відкриту онтологію OBO, яка є широкою областю знань і предметною областю. В загальному випадку онтологія домена складається з множини низькорівневих доменно-специфічних класів для всебічного опису певного домена та його аспектів.

Перевагою такої ієрархії є те, що розробник, з одного боку, має вже готові рішення, а з іншого — необмежений існуючими варіантами і може робити доповнення «під себе». Більшість онтологій для біомедичної сфери підтримують мову OWL, що знімає проблему їх з'єднання між собою. Крім того, он-

тологія верхнього рівня BFO на сьогодні знаходиться в стані активної стандартизації, як універсальна онтологія верхнього рівня.

Також останнім часом поширеним є використання онтологій в інформаційному середовищі, зокрема в пошукових ресурсах. Цей напрямок ґрунтується на використанні Semantic Web, тому успішність розробки і реалізації пошукових ресурсів безпосередньо залежить від семантичної узгодженості сторінок, що обмінюються інформацією. При цьому необхідно врахувати і вирішити низку проблем, пов'язаних із розв'язанням конфліктів, що виникають через семантичну гетерогенність, коли два контексти по-різному використовують одну й ту саму інформацію (Noy, 2004).

У (Haller, Polleres, 2020) запропоновано поділ онтологій (як адаптація класифікації онтологій Гуаріно) на рівні залежності від рівня абстракції, з одного боку, і можливості повторного використання онтології — з іншого. На рис. 3 наведено ієрархію онтологій для інформаційного напрямку.

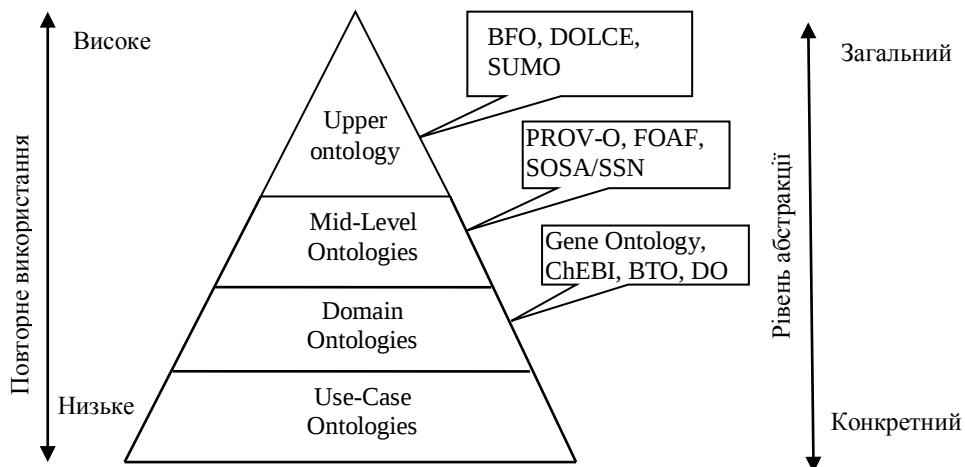


Рис. 3. Чотирирівнева ієрархія онтологій на основі класифікації Гуаріно

Цей поділ включає чотири рівні. На верхньому рівні — представлені онтології, які визначають дуже загальні терміни для всіх областей знань. Онтології середнього рівня Mid-Level Ontologies з'єднує між собою абстрактний зміст онтологій верхнього рівня і конкретику онтологій нижнього рівня. Онтології предметної області Domain Ontologies описують поняття конкретної області, моделюють понятійний апарат, визначення основних термінів тощо. Онтології варіантів Use-Case Ontologies залежно від вирішуваних задач містять конкретний набір деталізованих класів і відношень. Тобто, чим нижчий рівень онтологій, тим деталізація буде вищою, а абстракція меншою, і навпаки, повторність або універсальність застосування у всіх сферах — прямо пропорційна.

Основними недоліками онтологій інформаційного напрямку є проблематичність з оновленням версій і узгодженості вже побудованих варіантних рішень з оновленнями. Фактично лише сучасні онтології стандартизовані у W3C, Time Ontology (Cox & Little, 2020) та SSN/SOSA (Haller, Janowicz, & Lefrançois, 2017) встановлюють зв'язок термінів з попередньою версією, при цьому Time Ontology

використовує старий URI, а SSN/SOSA вводять новий. Перевагою є різноманітність онтологій для різних рівнів, частина з яких відкриті. Розробники, які працюють у цій сфері, стверджують, що найбільш вдалою є реалізація «знизу — вгору», використана при побудові онтологій пошуку у Wikipedia та Wikidata яка забезпечує їх ефективне функціонування. В працях (Луцька, Власенко & Пупена, 2021; Луцька, Власенко & Пупена, 2020) було розглянуто особливості функціонування та роботи з онтологічними базами даних для Wikipedia та Wikidata.

У праці (Ma, Schultz & Jorgensen, 2019) наводиться один з найпоширеніших варіантів трирівневого розбиття онтологій для багатоагентних систем енергетичної галузі. В основі цього поділу покладено можливість повторного використання й уточнення понять і термінів «зверху донизу». На рис. 4 наведено три рівні онтологій: онтології верхнього рівня (Upper ontology), онтології предметної області (Domain ontology) та прикладна онтологія (Application ontology). Онтології верхнього рівня надають загальні та узгоджені концепції, на які посилаються інші онтології. Онтології предметної області повторно використовують або уточнюють концепції з онтологій верхнього рівня і визначають терміни і відносини, які відповідають конкретній предметній області. Прикладні онтології повторно використовують і розширюють терміни з однієї або декількох онтологій предметної області для застосування в конкретній прикладній програмі і, як правило, доволі унікальні і не можуть бути повторно використані для інших додатків.

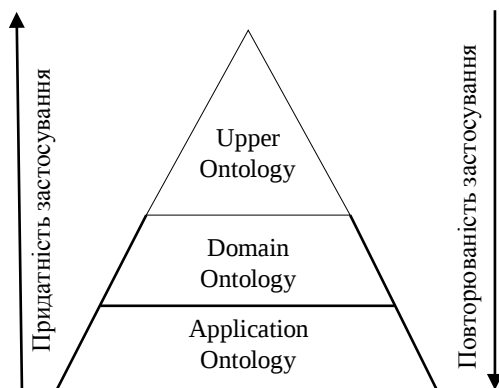


Рис. 4. Трирівнева онтологія багатоагентних систем

Ще одна важлива праця з побудови онтології (Winters & Tolk 2009; Hodgson 2009), у якій наведені моделі онтологій, розроблених NASA (NexIOM). Через складність моделі, в основі якої сімейство приблизно 140 онтологій, які працюють із сотнями наборів даних, у статті структура не наводиться. Результатом функціонування є пошук інформації для створення відповідних продуктів на основі взаємодії між системами та інструментами, що входять до складу онтології. Така модель є унікальною і дуже спеціалізованою, тому в інших галузях не використовується.

Кардинально відмінним підходом до побудови онтології є підхід, розроблений українським академіком А. В. Палагіним (Палагин, Кривый & Петренко,

2012). Особливістю цього підходу є те, що для розробки онтологій виділяються не рівні, а предметна (ПдО) і проблемна області, які складаються з онтологій-компонентів (рис. 5), об'єднаних ієрархічно: онтології об'єктів O^0 , що містить класи, підкласи і їх елементи; онтології процесів ПдО $O^П$, до складу якої входять процеси, підпроцеси, дії, операції; онтології задач O^3 , що можуть бути представлені і вирішені в ПдО і складаються із сукупності задач, підзадач, процедур і операцій. Приклад реалізації цього підходу наведено в (Lutskaaya, Vlasenko & Shtepa, 2020). Перевагою цього підходу є те, що він дає змогу використовувати вже існуючі розроблені онтології, проводити реалізацію на основі OWL-орієнтованих онтологій, містить чітко виділені проблеми, задачі та методи їх вирішення.

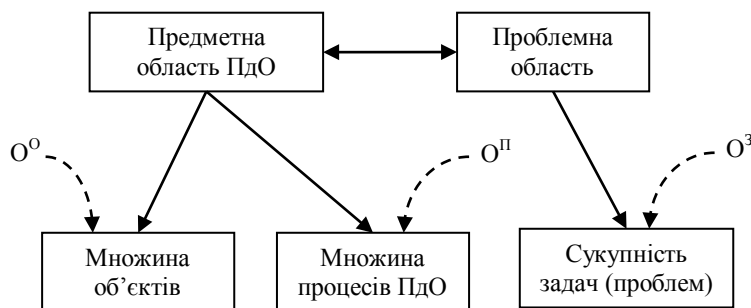


Рис. 5. Схема онтологій-компонентів предметної та проблемної областей

Метою статті є висвітлення існуючих варіантів поділу онтологій на рівні при проектуванні знаннеорієнтованих автоматизованих систем управління промислових підприємств, аналіз існуючих ієрархій та виділення критеріїв, на які доцільно орієнтуватись проєктанту при виборі структури онтології, її ієрархії і видів онтологій, що будуть представлені на кожному відповідному рівні. Розроблювана онтологія орієнтована на використання бази знань усього підприємства, що включає різні види інформації, які функціонують на підприємстві, в тому числі галузеві, емпіричні та експертні знання.

Викладення основних результатів дослідження. На вибір ієрархії онтологій, кількість рівнів і склад при вирішенні поставлених задач впливає багато факторів, починаючи від складності самої проблеми і закінчуючи кількістю концептів, що входять до складу онтології. Для вирішення цих проблем доцільно виділити критерії, за якими проєктант проводитиме оцінку існуючих варіантних рішень і можливість застосування до своєї галузі. Для кожного рівня при виборі онтологій набір критеріїв буде різнитись у зв'язку із множиною причин, пов'язаних із наявністю вже готових відкритих/закритих онтологій для певної галузі, складності запитів, допустимої швидкості реагування розробленого інформаційного продукту тощо. Але доцільно виділити загальні критерії, за якими можна оцінити онтології всіх рівнів та їх структуру, з подальшим розширенням і коригуванням їх кількості залежно від рівня, для якого проводиться вибір. У зв'язку з цим слід використовувати критерії, які максимально повно будуть відображати відповідність онтології, що оцінюється. Крім того, після оцінки існуючих онтологій на кожному рівні проєктант буде мати чітке розу-

міння, чи існує набір онтологій, які його задовольняють, чи слід розробляти свої, і скількох рівневу ієрархію доцільно йому використати.

З огляду на промислове призначення розроблюваної інтелектуальної автоматизованої системи управління підприємством, особливості даних, знань і функцій кожного управлінського рівня, виділено такі критерії:

1. *Доступність*. Цей критерій характеризує можливість доступу до онтології і може бути уточнений при складанні опитувальника у таких варіантах: чи вона розміщена в репозиторіях з відкритим доступом, безкоштовна чи платна, чи підтримується глобальний пошук, чи є підтримка цієї онтології.

2. *Ціна*. Якщо онтологія платна, то фінансове питання стає актуальним.

3. *Можливість виявлення*. Як відомо, більшість існуючих онтологій доволі погано виявляються пошуковими системами в мережі Internet. Тому часто необхідно затратити значну кількість часу для пошуку потрібного варіанта онтології, а інколи через це можна не знайти існуючу онтологію, що відповідає заданим вимогам.

4. *Наявність* відповідної онтології в галузі, в якій проводиться робота. Цей критерій є одним з важливих, оскільки розробка будь-якої, навіть дуже маленької, онтології — це серйозна і трудомістка робота, завжди доцільно використовувати вже існуючі онтології. На сьогодні розвиток онтологій різних рівнів проходить нерівномірно. Наприклад, у сфері біомедицини розроблено велику кількість різних онтологій з тезаурусами, які включають десятки тисяч понять і відношень між ними. Також до розвинутих галузей можна віднести інформаційну базу знань, яка розвивається активно через стрімке вдосконалення пошукових систем, алгоритмів і методик в Internet. Авторам не вдалось свого часу знайти онтології та онтологічні бази знань з автоматизації (Палагин, Крытый & Петренко, 2012).

5. *Повнота та адаптивність*. Перегукується із попереднім критерієм, але враховує, наскільки різнопланово наповнена галузева онтологічна база та наскільки можливо її адаптувати під вирішувану задачу.

6. *Відкритість*. Навіть у випадку, якщо вдається знайти онтологію, яка підходить до вирішення задачі, зазвичай, необхідно проводити суттєве доопрацювання, доповнення потрібними термінами, відношеннями, аксіомами, правилами тощо. Тому важливим є те, чи відкрита онтологія до внесення змін сторонніми користувачами або чи є і які саме механізми для проведення її уточнення.

7. *Сумісність*. Можливість комплексувати онтології різного та одного рівня між собою. На сьогодні актуальним є OWL-орієнтованість існуючих варіантів. У табл. 1 наведено приклади сумісних між собою онтологій без орієнтування на галузь їх приналежності.

8. *Технічне обслуговування та версії*. Цей критерій дає змогу оцінити наявність технічного обслуговування онтології, вихід нових версій і їх сумісність між собою і як поводитиметься нова версія у вже існуючих поєднаннях онтологій.

9. *Модульна будова*. Якщо для поставленої задачі це актуально.

10. *Якість*. Критерій показує, чи онтологія, розвиваючись, залишається послідовною, правильною, чи наявний механізм зворотного зв'язку для відслідковування проблем.

11. *Стандартизація.* Критерій показує відповідність онтології існуючому міжнародному стандарту чи, можливо, вона сама є частиною стандарту.

Аналіз онтологій можна проводити на основі стандартної процедури експертного оцінювання.

Для інтелектуальної автоматизованої системи управління виробничим підприємством розроблено структуру онтології, представлену на рис. 6. Особливістю її є орієнтація на рівні управління підприємством, задачі, а також онтологію верхнього рівня BFO, яка сьогодні знаходиться на стадії стандартизації.

Таблиця 1. Характеристика сумісності онтологій

Онтологія верхнього рівня	Мова	Інтеграція з іншими онтологіями, логіками, мовами, словниками, специфікаціями
BFO	OWL	SSN/SOSA, FOAF, BOT, PROV-O, IAO, OWL-Time, QUDT, Saref, Calidad Aire, Org, Ifc OWL, QUDT
DOLCHE	First Order Logic, KIF, OWL	DAML+OIL, LOOM, RDFS, CASL, FOAF, OBO Relation Ontology, OAI-ORE
SUMO	SUO-KIF, OWL	WordNet, FrameNet, EMELD, XML, DAML (not FOL), LOOM, Protege (not FOL)
Сус	CycL formal language, є вбудований Ontology Exporter з Сус в OWL	WordNet

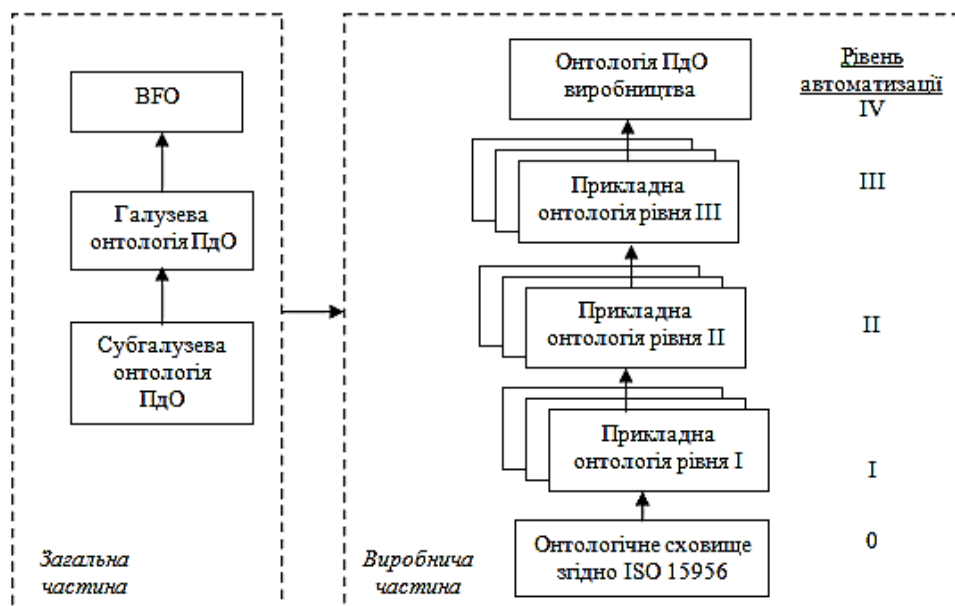


Рис. 6. Структура онтології інтелектуальної автоматизованої системи управління виробничим підприємством

Висновки

У статті наведені основні види ієрархій онтологій за принципами їх виділення. На основі аналізу літератури визначено особливості кожної ієрархії із зазначенням основних характеристик. Запропоновано множину критеріїв з коротким описом кожного, які можуть бути взяті за основу розробниками онтологій та онтологічних баз знань на промислових підприємствах. Розроблено універсальну структуру онтології інтелектуальної автоматизованої системи управління виробничим підприємством, що включає різні види інформації, які функціонують на підприємстві, в тому числі галузеві, емпіричні та експертні знання. Таким чином, в дослідженні конкретизується та доповнюється раціональний вибір ієрархії та онтології верхнього рівня для розробки інтелектуальних автоматизованих систем управління промисловим підприємством на основі виділених показників.

У подальшому планується провести детальний аналіз особливостей функціонування популярних онтологій верхнього рівня, визначення їх переваг і недоліків для комплексу «автоматизація-харчова промисловість» галузі знань.

Література

Луцька, Н. М., Власенко, Л. О., Пупена, О. М. (2020). *Використання SPARQL-запитів для доступу до вузлів Wikidata*. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами». Київ: НУХТ.

Луцька, Н. М., Власенко, Л. О., Пупена, О. М. (2021). Технічні аспекти інтеграції відкритих онтологічних баз знань із сучасними автоматизованими системами управління. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 27(1), 8—21.

Палагин, А. В., Крывый, С. Л., Петренко, Н. Г. (2012). *Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография*. Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля.

Beisswanger, E., Schulz, S., Stenzhorn, H., Hahn, U. (2008). BioTop: an upper domain ontology for the life sciences. *Applied Ontology*, 3(4), 205—212. <https://doi.org/10.3233/AO-2008-0057>.

Cox, Simon J. D., Little, C. *Time ontology in OWL*. W3C Recommendation. <https://www.w3.org/TR/owl-time/>.

Guarino, N. (1998). *Formal ontology in information Systems*. Proceedings of the First International Conference (FOIS'98). Trento, Italy: IOIS Press.

Haller, A., Polleres, A. (2020) Are we better off with just one ontology on the Web? *Semantic Web*, 11(1), 87—99. <https://doi.org/10.3233/SW-190379>.

Haller, A., Janowicz, K., Cox, Simon, J. D., Phuoc, D. L., Taylor, K., Lefrançois, M. *Semantic sensor network ontology*. W3C Recommendation. <https://www.w3.org/TR/vocab-ssn>.

Hodgson, R. (2009). *NASA NexIOM Ontologies, Briefing at the C2 Ontology Technical Exchange*. National Center for Ontological Research (NCOR). Washington, DC: U.S. Joint Forces Command.

Lutsкая, N., Vlasenko, L., Zaiets, N., Shtepa, V. (2020). *Ontological aspects of developing robust control systems for technological objects*. Vasant P., Zelinka I., Weber G. W. (eds) Intelligent computing and optimization. ICO 2020. Advances in intelligent systems and computing. Hua Hin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68154-8_107.

Ma, Z., Schultz, M. J., Christensen, K., Varbak, M., Demazeau, Y., Jorgensen, B. N. (2019). The application of ontologies in multi-agent systems in the energy sector. *Energies*, 12, 3200. <https://doi.org/10.3390/en12163200>.

Noy, N. F. (2004). Semantic integration: a survey of ontology-based approaches. *SIGMOD Rec.* 33(4), 65—70. <https://doi.org/10.1145/1041410.1041421>.

Ziemer, J. (2003). *Semantic compliance in finance*. Reference ontologies: financial compliance depends on finance and legal. Взято з: <https://finregont.com/reference-ontologies/>.

Stenzhorn, H. et al. (2007). *Towards a Top-Domain ontology for linking biomedical ontologies*. Studies in health technology and informatics, 129 (Pt 2): 1225-9. Взято з <https://doi.org/10.3233/978-1-58603-774-1-1>.

Winters, L., Tolk, A. (2009). *C2 domain ontology within our lifetime*. Paper presented at the 14th International command and control research and technology symposium (ICCRTS). Washington, DC: Computational Modeling & Simulation Engineering Faculty Publications.