

ЗАСТОСУВАННЯ СЕМАНТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НАФТОГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ

В. А. Корнута*, О. В. Корнута

ІФНТУНГ; м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15,
e-mail: volodymyr.kornuta@nung.edu.ua

Проведено дослідження використання інструментів систем прийняття рішень на основі онтологічних описів та в цілому семантичних мереж у процесі конструювання нафтогазового обладнання в рамках виконання навчальних та індустріальних задач. Виконано порівняльний аналіз методик проектування та створення онтологій, їх використання під час вирішення задач у різних галузях, зокрема у нафтогазовій галузі. Вивчено можливості удосконалення процесів проектування елементів нафтогазового обладнання за рахунок розроблення засобів онтологічної підтримки проектування. Розглянуто застосування промислового стандарту ISO 15926 для опису нафтогазового обладнання, розвинено методика розробки онтологій для предметної області «нафтогазове обладнання». Проведено аналіз методик проектування та наявних на ринку програмних продуктів і комплексів з метою визначення відповідності пропонованих ними інструментів до використання у розробці семантичних моделей елементів нафтогазового обладнання. Наведено результати проектування онтологій згаданої предметної області на основі використання підходу зверху – вниз, від загального до індивідуальних випадків. У процесі проектування онтологій на основі відомих довідників укладено таксономію для виявлення відношень «є», «є частиною», сформовано тезаурус, описано відношення термінів-класів. Із використанням вільнопоширюваної програми Protégé утворено семантичну мережу опису нафтогазового обладнання на різних етапах його проектування. Утворена семантична мережа та інструменти аналізу семантичних мереж для виведення нових тверджень, наявні у Protégé, дозволять підвищити ефективність методик проектування елементів нафтогазового обладнання за рахунок застосування семантичних технологій для автоматизації пошуку нових перспективних рішень.

Ключові слова: онтологія; предметна область; тезаурус; редактор Protégé.

The study of the use of tools of decision-making systems based on ontological descriptions and semantic networks in general in the process of designing oil and gas equipment in the framework of educational and industrial tasks is carried out. A comparative analysis of methods for designing and creating ontologies, their use in solving problems in various industries, in particular in the oil and gas industry, is performed. The possibilities of improving the design processes of oil and gas equipment elements through the development of ontological design support tools are studied. The application of the industry standard ISO 15926 to describe oil and gas equipment is considered, and the methodology for developing ontologies for the subject area "oil and gas equipment" is developed. The analysis of design methods and software products and complexes available on the market is carried out in order to determine the compliance of the tools offered by them with the use of elements of oil and gas equipment in the development of semantic models. The results of designing ontologies of the mentioned subject area based on the use of a top – down approach, from general to individual cases, are presented. In the process of designing an ontology based on well-known reference books, a taxonomy is compiled to identify the relations "is", "is part", a thesaurus is formed, and the relationship of terms and classes is described. Using the freely distributed Protégé Program, a semantic network of descriptions of oil and gas equipment at various stages of its design is formed. The created semantic network and tools for analyzing semantic networks for deriving new statements, available in Protégé, will increase the efficiency of methods for designing elements of oil and gas equipment by using semantic technologies to automate the search for new promising solutions.

Keywords: ontology; subject area; thesaurus; Protégé editor.

Вступ

Широке застосування доступних апаратних і програмних рішень інформаційно-комуні-каційних технологій фундаментально змінило способи створення, поширення, зберігання та отримання інформації під час проектування різних продуктів. Зокрема, в

різних областях проектування: як в академічних колах, так і в промисловості застосовуються методи онтологічного опису [1].

Онтологія – це формальна специфікація концептуалізації [2], змістова модель предметної області [3]. Онтології в загальному

вигляді визначаються як спільно використовувані формальні концепції конкретних предметних областей, відомості з яких використовуються для обміну інформацією у спілкуванні людини та програмних додатків [4]. Онтологія є центральним елементом семантичних технологій, використовується для ефективного представлення знань та перекладу знань у форму, придатну для інтерпретації як комп'ютерами, так і людьми [5]. Семантичні технології дозволяють об'єднати різноманітну інформацію з різноманітних джерел та забезпечити її представлення за допомогою формальних стандартизованих засобів моделювання знань.

Побудова інформаційної системи на основі онтологічного аналізу предметної області та розробка семантичних моделей істотно економить час на адаптацію інформаційної системи під нові задачі, підвищує якість роботи щодо узгодженості даних, процедури інтерпретації результатів моделювання [6].

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Питаннями використання онтологічних методів при проектуванні виробів займалися багато закордонних та вітчизняних вчених. Перспективи практичного застосування онтології в інженерії проектування досліджували Джонсон та ін. [7], які окреслили три основні напрямки застосування онтології в області проектування: анотація інформації про проектування, обмін та пошук даних; сумісність та об'єднання проектної інформації безпосередньо у процесі проектування. Згідно [8] встановлено, що за допомогою онтологічних методів цикл проектування виробів можна скоротити, якщо розробити сімейство продуктів на основі онтологічного додатку Protégé. У дослідженні [9] представлено заснований на онтології підхід до вирішення проблем, що виникають при проектуванні виробництва. Ключовою особливістю розробленої у [9] програми є те, що вона інтегрує весь процес проектування в модель знання про продукт (the Product knowledge model) для підтримки пошуку, повторного використання, інтеграції та передачі знань проектування. Рутинна допомога при проектуванні розроблена для повторного використання знань про продукт на основі методу конфігурації, що швидко генерує рішення шляхом обґрунтування правил конфігураційних обмежень. У [10]

пропонується метод застосування онтологічного підходу, коли під час проектування та аналізу надійності продукції досягається повторне використання знань про вплив на навколишнє середовище. Спочатку аналізується взаємозв'язок впливу на навколишнє середовище та надійності продукції. Потім розробляється онтологія впливу на навколишнє середовище для опису знань предметної області. Пов'язані поняття впливу навколишнього середовища формально визначаються за допомогою онтологічного підходу. Метою дослідження [11] є розробка обчислювальної системи на основі інженерної онтології для структурування неструктурованих інженерних документів та досягнення більш ефективного пошуку в процесі проектування. У [12] запропоновано архітектуру системи спільного проектування на основі онтології: глобальної спільної онтології та локальної онтології; причому обидві вони машинно інтерпретовані. У [13] представлено модель даних на основі онтології, яка підтримує проектування та оцінку продуктивності виробничих систем, пов'язуючи просторове моделювання фізичних об'єктів з характеристикою їх станів і поведінки.

Питаннями щодо проектування та побудови інформаційно-аналітичних систем на основі комп'ютерних онтологій та розробкою онтологій різних предметних галузей займалися багато українських вчених [14-17]. Однак питання щодо використання онтології для проектування обладнання нафтогазової галузі досі не розглянуті.

Метою даної роботи є удосконалення процесів проектування елементів нафтогазового обладнання за рахунок розробки засобів онтологічної підтримки проектування.

Висвітлення основного матеріалу дослідження

При створенні онтологій можна використовувати мови представлення онтологій або використовувати конструктор онтологій – додаток, що підтримує створення та управління онтологією, імпортування/експорту в різних форматах, доступ до бібліотек онтологій, візуалізацію, мови запитів. Конструктор онтологій дозволяє вносити зміни до системи фахівцям, не знайомим з мовами програмування [18].

На сьогоднішній день одним із найбільш перспективних стандартів організації онтологічних баз даних, що визначають

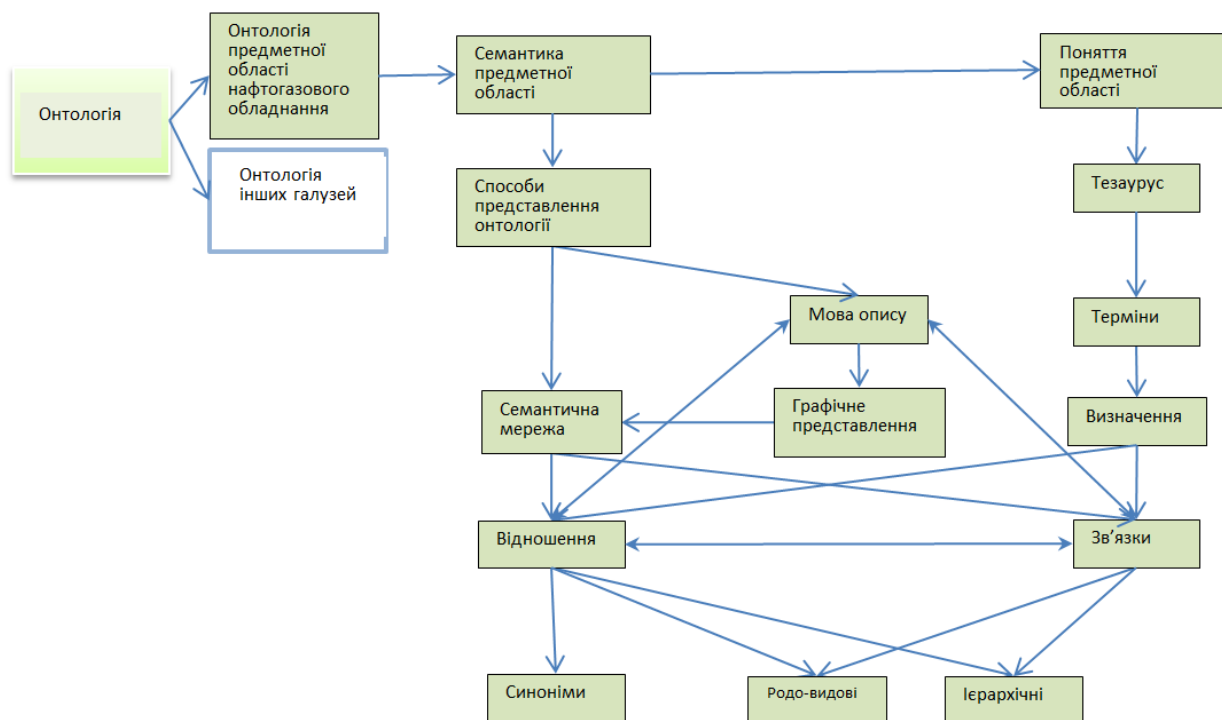


Рисунок 1 – Основні елементи поняття «Онтологія»

структуру об'єктів і систем, є стандарт ISO 15926 [19]. Це стандарт обміну інформацією, призначений для використання у промисловості (насамперед, нафтогазовій). Основними особливостями стандарту є специфічний підхід до класифікації об'єктів та їх відносин, облік тимчасової складової об'єктів (4D моделювання), можливість моделювання життєвого циклу систем (а не просто поточного стану тієї чи іншої системи). Стандарт містить онтологічне ядро і передбачає використання спільних бібліотек довідкових даних для створення прикладних інформаційних моделей. Все це забезпечує як його переваги (можливість створення високоякісних і релевантних моделей життєвого циклу систем, відмінний потенціал використання для передачі інформації між різними організаціями за допомогою загального «онтологічного словника»), так і недоліки (зростаючу складність моделей, що виходять, високий «порог входу» за рівнем знань, необхідних для оволодіння стандартом та його використання). Розроблення стандарту було розпочато ще 1990-ті роки. З появою в середині 2000-х технологій SemanticWeb, вони були затверджені як технологічна основа для вираження даних відповідно до ISO 15926. Таким чином, основні концепції стандарту були закладені до виникнення SemanticWeb, але тільки поява цих технологій надала необхідний

технологічний базис для створення способу вираження даних відповідно до стандарту, що має потенціал дійсно широкого поширення. Зазначимо, що стандарт ISO 15926 укладено для використання онтологічних інструментів під час опису нафтогазопереробних виробництв. Тому для використання подібного онтологічного підходу для опису інших предметних областей, наприклад, нафтогазового обладнання необхідно розробити, із використанням прийнятих стандартом ISO 15926 підходів, власний спосіб проектування та створення онтологій.

Узагальнену структуру онтології, яка відноситься до нафтогазового обладнання, наведено на рисунку 1. Для побудови онтології предметної області «Нафтогазове обладнання» варто використовувати загальноприйнятий підхід побудови семантичної мережі та тезаурусу, які містять терміни з визначеними відношеннями та зв'язками, описані мовою опису.

Необхідність у розробці онтології викликана різними факторами та, перш за все, завдяки специфікації термінів предметної області з'являється можливість аналізувати та одержувати знання у обраній предметній області, що є корисним для нових користувачів, наприклад, студентів. При створенні онтологій у суміжних предметних областях, можлива їх інтеграція. Крім того, при створенні

інформаційної системи, існуюча онтологія використовується, як її семантична основа, що дає можливість суттєво покращити зв'язність моделей предметної області.

Згідно стандарту [19] та джерел [1-10] розглянемо проектування онтології в предметній області «Буровий верстат». Проектування починається з визначення предметної області (в даному випадку «Буровий верстат»), визначення стадій проектування та елементів обладнання (вишколєбідковий блок; силовий блок; насосний блок;

вигляді WEB-додатку. Зовнішній вигляд інтерфейсу програми наведений на рисунку 2. Всі поняття предметної області поділяють на класи, підкласи, екземпляри. При побудові онтології необхідно визначити класи, організувати їх в деяку ієрархію, визначити слоти та заповнити їх значеннями.

Для розробки ієрархії класів в онтології існують різні підходи [24]. Можливе визначення розпочинаючи з нижніх класів ієрархії з наступним групуванням цих класів у більш загальні поняття або визначення

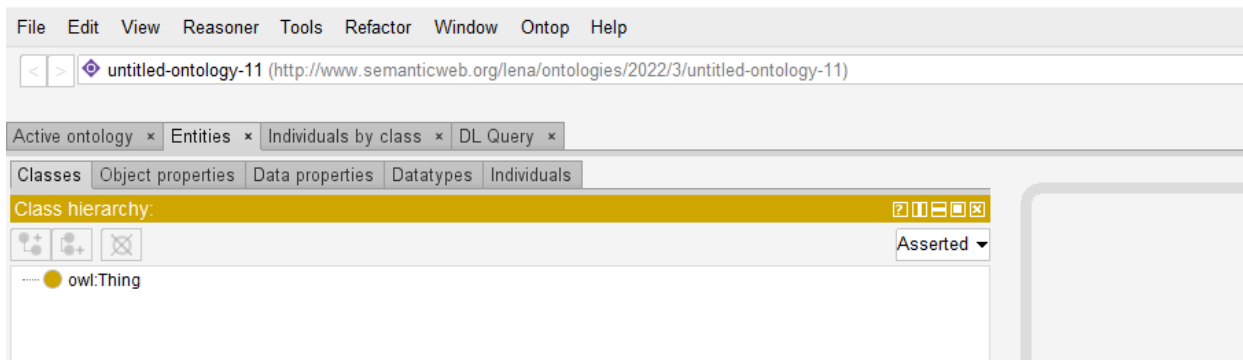


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд інтерфейсу програми Protégé

циркуляційна система; пневмо-управління бурового верстата; електрообладнання; противикидне обладнання та ін.).

Наступний етап – визначення навчальних матеріалів, таких, як: словники, підручники, посібники, довідники, тощо, котрі будуть використовуватись при створенні предметної області. Зауважимо, що термінологічна база та методи її поширення можуть змінюватись при створенні та використанні онтології. Загальна термінологія, що міститься в тезаурусі, базується на підручниках, навчальних посібниках та термінологічних словниках [20, 21].

Важливе значення надається і вибору онтологічного редактора. Згідно із стандартами ISO 15926 за критерії для порівняльного аналізу онтологічних редакторів приймають відкритість системи та зручність роботи, можливість імпорту даних, підтримку формату OWL. На основі порівняльного аналізу для проектування онтологій [22] використовували онтологічний редактор Protégé [23]. Система Protégé є одним з найбільш відомих інструментів для створення онтологій. Цей продукт був розроблений Центром біомедичної інформатики Стендфордського університету і є вільно розповсюджуваним програмним забезпеченням. Програма реалізована у вигляді кросплатформеного десктопного додатку та у

найбільш загальних понять предметної області з наступною конкретизацією та уточненням. Також можлива комбінація цих підходів (визначення більш значимих понять з наступним узагальненням та обмеженням). При цьому класи та підкласи в онтології утворюються сутностями та складають таксономію (ієрархію понять) [25].

Наукоємні предметні області з великою кількістю інформації та можливістю трансформації задач протягом всього життєвого циклу онтології, до яких відноситься нафтогазове обладнання, переважно вимагають створення онтології з визначення загальних понять з наступною конкретизацією. До онтології, що містить сутності, пов'язані лише ведучим типом відносин, пропонується додавати сутності з іншими типами відносин шляхом встановлення між ними зв'язків-асоціацій.

Як уже було згадано, під час проектування онтології можуть змінюватись границі предметної області та масштаб онтології (кількість сутностей та їх екземпляри). Тому проектування онтології відбувається, зазвичай, у кілька ітерацій, наприкінці кожної з яких необхідно визначитися, чи достатньо сутностей в онтології для її коректного використання, чи є необхідність у розширенні створеної онтології або злитті декількох, чи є необхідність

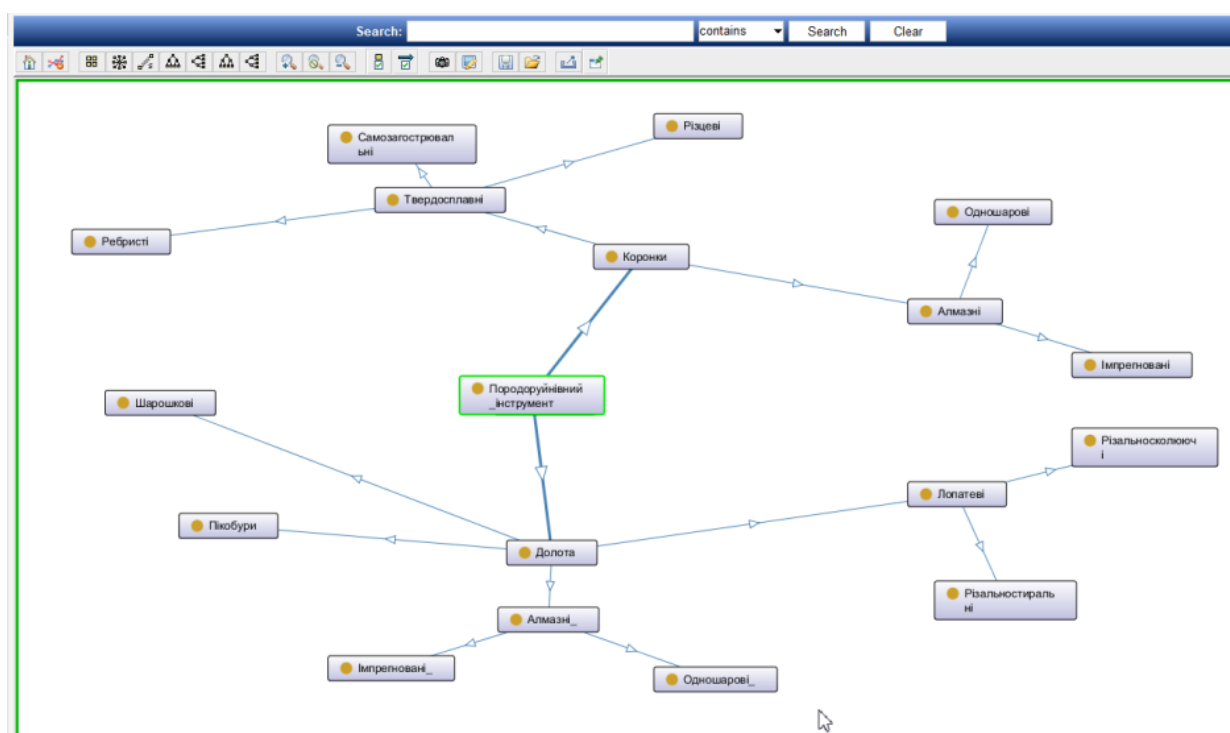


Рисунок 3 – Встановлення ієрархічних родо-видових зв'язків між термінами

включення до онтології екземплярів класів. При злитті онтологій слід приймати до уваги родові та асоціативні відносини, існування синонімів та омонімів, а також рівень ієрархії. Злиття досить часто використовується при проектуванні онтологій, оскільки дозволяє розподілити завдання між командою розробників та одночасно створювати декілька онтологій.

Якість створеної онтології оцінюється після початку її використання в інформаційній системі. Зокрема, при використанні з навчальною метою для оцінювання якості використовують опитування студентів з метою визначення переваг та недоліків роботи з онтологією, її повноти відповідно до тих завдань, які вирішуються студентами. Тобто встановити, чи кожне із завдань та їх рішень може бути описано у межах спроектованої онтології.

Семантичною основою процесу проектування з використанням онтологій є тезаурус предметної області [26]. Тезаурус – це систематизована сукупність понять визначеної галузі науки, що відображає логічні зв'язки між термінами, які базуються на класовій ієрархії, родо-видових та асоціативних зв'язках. Тезаурус є джерелом єдиних, вичерпних та несуперечливих даних про конкретний об'єкт. Тезаурус використовується для забезпечення загальної термінології для предметної області з метою спільного використання всіма

користувачами; одержання точних і несуперечливих визначень кожного терміну; забезпечення задання семантики за допомогою множини аксіом, що автоматично дозволяє одержати відповідь на множини питань про предметну область. Тезаурус містить основні сутності обраної предметної області, а саме це етап проектування нафтогазового обладнання, в процесі якого повинні бути об'єднані різні аспекти проектування нафтогазового обладнання, що стосуються його характеристик геометрії, міцності, надійності та ін.

Встановлення відношень між термінами в тезаурусі реалізується відповідно до ГОСТ 7.25-2001 [26]. Родо-видовий зв'язок встановлюється між двома дескрипторами, якщо поняття нижчого дескриптора входить в поняття вищого дескриптора. Наприклад, «Різьбно-сколюючі» та «Різьбно-стиральні» є видами «лопатевих доліт», «Лопатеве» є одним з видів «Долота», в той же час «Долото» – один з видів «Породоруйнівного інструменту» (рис. 3).

Якщо між термінами (наприклад «буровий верстат» - «конструкція», «буровий верстат» - «двигун», «буровий верстат» - «параметри» та ін.) не можна встановити ієрархічні родо-видові відносини («конструкція» і «двигун» не є одним із видів «бурового верстату») і вони не є синонімами, але перебувають у відносинах належності: «буровий верстат» має «двигун», «буровий верстат» має «параметри» та ін.,

пропонується встановлювати зв'язки-асоціації, що визначаються за допомогою предикатів. У Protégé такі відносини асоціації відображаються лініями зі стрілками, які вказують напрямок, у якому пов'язані терміни (рис. 4).

Семантична мережа бурового верстату побудована засобами Protégé, наведена на рис. 5.

Таким чином, онтологічний аналіз дозволяє формалізувати складні процедури вибору на етапі попереднього проектування виробів. Створювані бази даних елементів обладнання, сценарії проектування, розрахункові модулі і тезаурус предметної області, що розробляється, дозволять побудувати онтологію проектування елементів нафтогазового обладнання, яка може увібрати в себе накопичені у предметній галузі знання.

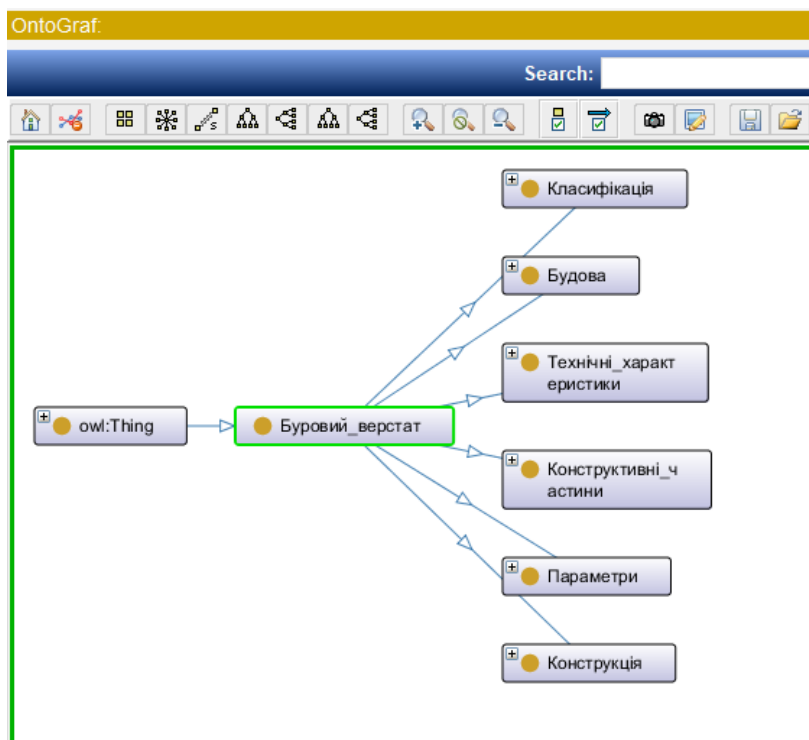


Рисунок 4 – Асоціативні зв'язки належності між термінами

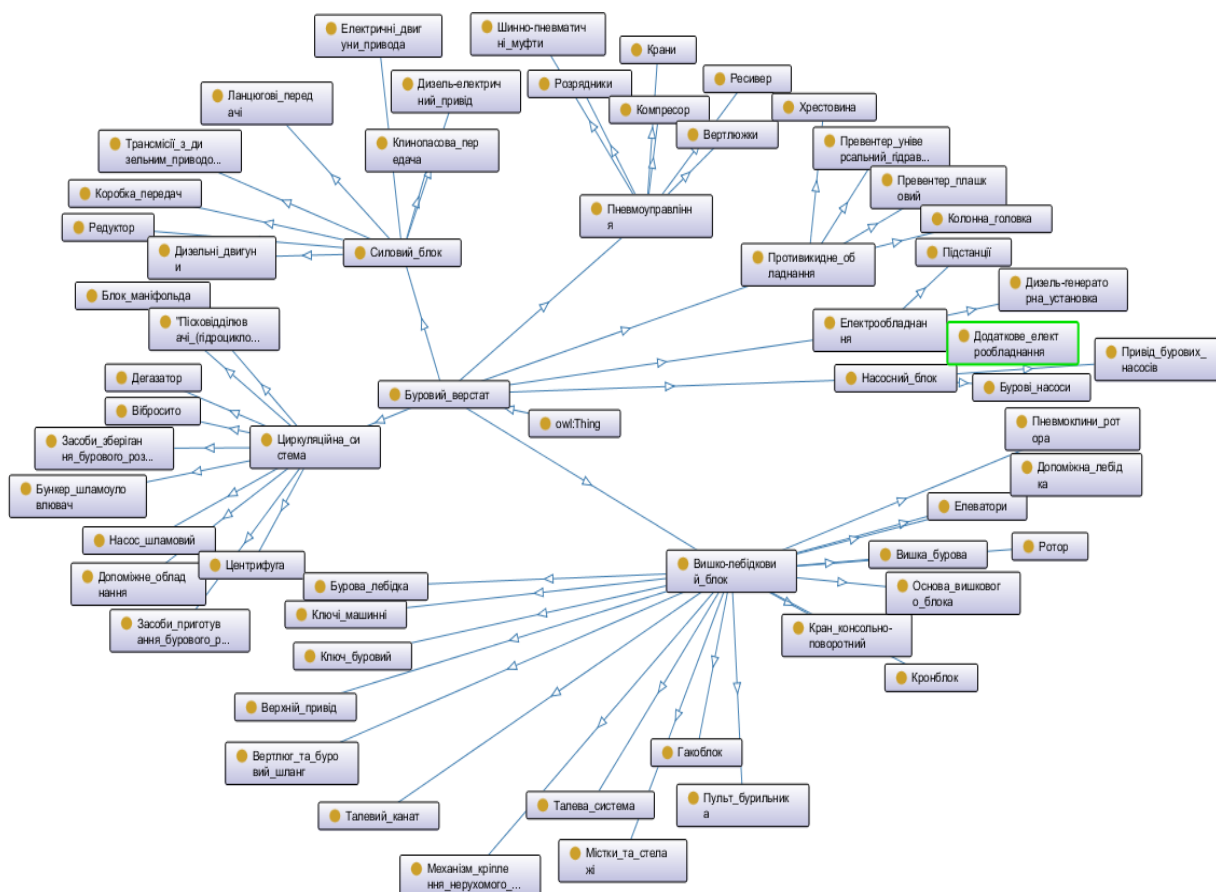


Рисунок 5 – Приклад класів тезауруса «Проектування бурового верстату», виконаний у програмі Protégé

Література

1. Комп'ютерні онтології та їх використання у навчальному процесі. Теорія і практика : Монографія / С. О. Довгий та ін. Київ : Інститут обдарованої дитини, 2013. 310 с. URL: https://lib.iitta.gov.ua/10124/1/9_Монографія_Стрижак_Компьютерн_онтолог_видано.pdf
2. Gruber T. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*. 1993. Vol. 5. P. 199-220. URL: <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>
3. Смирнов С.В. Онтологии как смысловые модели. *Онтология проектирования*. 2013. № 2(8). С. 12-19. URL: [http://ontology-of-designing.ru/article/2013_2\(8\)/4_Smirnov.pdf](http://ontology-of-designing.ru/article/2013_2(8)/4_Smirnov.pdf)
4. Овдей О.М., Проскудина Г.Ю. Обзор инструментов инженерии онтологий. Институт программных систем НАН Украины. URL: <https://elbib.ru/article/view/254/253>
5. Suárez-Figueroa M.C., Gómez-Pérez A., Motta E., Gangemi A. *Ontology engineering in a networked world*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2012. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-24794-1>
6. Gong F, Ma Y, Gong W, Li X, Li C, Yuan X. Neo4j graph database realizes efficient storage performance of oilfield ontology. *PLoSOne*. 2018. Vol. 13(11): e0207595. doi:10.1371/journal.pone.0207595
7. Lim S., Liu Y., Chen Y. Ontology in design engineering: status and challenges. *International conference on engineering design*, iced 15 27-30 july 2015. Politecnico di Milano, Italy. P. 1-10. URL: https://www.researchgate.net/publication/332910561_Ontology_in_design_engineering_status_and_challenges
8. Petrovan A. Overview on Equipment Development Ontology. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 657. P. 1066–1070. Crossref, doi:10.4028/www.scientific.net/amm.657.1066
9. Sun W., Ma Qin-yi and Gao Tian-yi. An Ontology-Based Manufacturing Design System. *Information Technology Journal*. 2009. Vol.8: P.643-656. DOI: 10.3923/itj.2009.643.656
10. Sun B, Li Y, Ye T, Ren Y. A novel ontology approach to support design for reliability considering environmental effects. *The Scientific World Journal*. 2015. DOI: 10.1155/2015/734984
11. Li Z., Yang M., Ramani K.. A methodology for engineering ontology acquisition and validation. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. 2009. Vol. 23(1). P. 37-51. doi:10.1017/S0890060409000092
12. Tieming Su, Xinpeng Qiu, Yunlong Yu. An ontology-based collaborative design system. *In Proceedings of the 6th international conference on Cooperative design, visualization, and engineering (CDVE'09)2009*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, P. 69–76. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1812983.1812993>
13. Terkaj W., Urgo M. Ontology-based modeling of production systems for design and performance evaluation. *Proceedings - 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics*. 2014. INDIN 2014. 10.1109/INDIN.2014.6945606. URL: https://www.researchgate.net/publication/268074065_Ontology-based_modeling_of_production_systems_for_design_and_performance_evaluation
14. Стрижак О. Є. Онтологічні інформаційно-аналітичні системи. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2014. № 3 (67). С. 71-76. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2014_3_13
15. Попова М. А., Стрижак О. Є. Онтологічний інтерфейс як засіб представлення інформаційних ресурсів в ГІС-середовищі. *Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского*. 2013. Серия «География». Том 26 (65). С. 127-135.
16. Козіброда С. В. Створення онтології предметної галузі майбутнім інженером-педагогом комп'ютерного профілю. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2016. Том 53, № 3. С. 74-87. URL: https://www.researchgate.net/publication/331469914_STVORENNA_ONTOLOGII_PREDMETNOI_GALUZI_MAJBUTNIM_INZENEROM-PEDAGOGOM_KOMP'UTERNOGO_PROFILU
17. Досин Д.Г., Даревич Р.Р., Шкутяк Н.В. Розробка онтології матеріалознавства засобами Protégé-OWL. *Искусственный интеллект*. 2008. №3. С. 70-77. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/6819/43-Dosin.pdf?sequence=1>
18. Боргест Н.М. Онтология проектирования: теоретические основы. Часть 1. Понятия и принципы. Самара: Изд-во СГАУ. 2010. 88 с.
19. ISO 15926. Industrial automation systems and integration—Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities. URL: <https://www.iso.org/ics/75.020/x/>
20. Андон Ф. И., Резниченко В. А. Управляемые словари, таксономии, тезаурусы и онтологии в семантическом вебе. *Инженерия*

програмного забезпечення. 2013. № 13. С. 40-48. URL: <https://docplayer.com/72323777-Upravlyaemye-slovari-taksonomii-tezaurusy-i-ontologii-v-semanticheskoy-vebe.html>

21. Федорович Я. Т. Машины та обладнання для видобутку нафти і газу : навч. посіб.

Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. 344 с.

22. Palagin O.V., Petrenko M.G. Some features of the construction of ontological domain models *Control systems and computers*. 2019. No 3. P. 23 – 37. URL: http://usim.org.ua/?page_id=7655&lang=en

23. Tudorache T., Noy N., Tu S., Musen M. Supporting Collaborative Ontology Development in Protégé. *The Semantic Web - ISWC 2008, 7th International Semantic Web Conference, ISWC 2008*. Karlsruhe, Germany. 2008. P.17-32. DOI:10.1007/978-3-540-88564-1_2.

24. Natalya F.N., McGuinness D.L. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880. 2001. URL: <http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology-tutorial-noy-mcguinness-abstract.html>

25. Онтології и тезаурусы: модели, инструменты, приложения / Добров Б. В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2009. 173 с.

26. ГОСТ 7.25-2001 СИБИД. Тезаурус информационно-поисковый одноязычный. Правила разработки, структура, состав и форма представления. Межгосударственный стандарт. [Чинний від 2001-05-22] – http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_7252001_SIBID_Tezaurus_in.html

References

1. Kompiuterni ontolohii ta yikh vykorystannia u navchalnomu protsesi. Teoriia i praktyka : Monohrafiia / S. O. Dovhyi ta in. – Kyiv : Instytutobdarovanoidytyny, 2013. 310 p. URL: https://lib.iitta.gov.ua/10124/1/9._Монографія_Стрижак_Компьютерн_онтолог_видано.pdf [in Ukrainian]

2. Gruber T. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*. 1993. Vol. 5. P. 199-220. URL: <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>

3. Smirnov S.V. Ontologii kak smyislovyie modeli. *Ontologiya proektirovaniya*. 2013. No 2(8). P. 12-19. URL: [http://ontology-of-](http://ontology-of-designing.ru/article/2013_2(8)/4_Smirnov.pdf)

[designing.ru/article/2013_2\(8\)/4_Smirnov.pdf](http://ontology-of-designing.ru/article/2013_2(8)/4_Smirnov.pdf) [in Russian]

4. Ovdey O.M., Proskudina G.Yu. Obzor instrumentov inzhenerii ontologiy. Institut programmnyh sistem NAN Ukrainyi. URL: <https://elbib.ru/article/view/254/253> [in Russian]

5. Suárez-Figueroa M.C., Gómez-Pérez A., Motta E., Gangemi A. *Ontology engineering in a networked world*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2012. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-24794-1>

6. Gong F, Ma Y, Gong W, Li X, Li C, Yuan X. Neo4j graph database realizes efficient storage performance of oilfield ontology. *PLoS One*. 2018. Vol. 13(11): e 0207595. doi:10.1371/journal.pone.0207595

7. Lim S., Liu Y., Chen Y. Ontology in design engineering: status and challenges. *International conference on engineering design*, iced15 27-30 july 2015. Politecnico di Milano, Italy. P. 1-10. URL: https://www.researchgate.net/publication/332910561_Ontology_in_design_engineering_status_and_challenges

8. Petrovan A. Overview on Equipment Development Ontology. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 657. P. 1066–1070. Crossref, doi:10.4028/www.scientific.net/amm.657.1066

9. Sun W., Ma Qin-yi and Gao Tian-yi. An Ontology-Based Manufacturing Design System. *Information Technology Journal*. 2009. Vol.8: P.643-656. DOI: 10.3923/itj.2009.643.656

10. Sun B, Li Y, Ye T, Ren Y. A novel ontology approach to support design for reliability considering environmental effects. *The Scientific World Journal*. 2015. DOI: 10.1155/2015/734984

11. Li Z., Yang M., Ramani K.. A methodology for engineering ontology acquisition and validation. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. 2009. Vol. 23(1). P. 37-51. doi:10.1017/S0890060409000092

12. Tieming Su, Xinpeng Qiu, Yunlong Yu. An ontology-based collaborative design system. In *Proceedings of the 6th international conference on Cooperative design, visualization, and engineering (CDVE'09)2009*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, P. 69–76. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1812983.1812993>

13. Terkaj W., Urgo M. Ontology-based modeling of production systems for design and performance evaluation. *Proceedings - 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics*. 2014. INDIN 2014. 10.1109/INDIN.2014.6945606. URL: <https://www.researchgate.net/publication/2680740>

- 65_Ontology-based_modeling_of_production_systems_for_design_and_performance_evaluation
14. Stryzhak O. Ye. Ontologichni informatsiino-analitychni systemy. *Radioelektronni i kompiuterni systemy*. 2014. No 3 (67). P. 71-76. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2014_3_13 [in Ukrainian]
15. Popova M. A., Stryzhak O. Ye. Ontologichniyi interfeis yak zasib predstavleniia informatsiinykh resursiv v his-seredovyshchi. *Uchenyie zapysky Tavrycheskoho natsyonalnoho unyversyteta ymeny V.Y.Vernadskoho*. 2013. Seryia «Heohrafyia». Tom 26 (65). P. 127-135. [in Ukrainian]
16. Kozibroda S. V. Stvorennia ontolohii predmetnoi haluzi maibutnim inzhenerom-pedahohom kompiuternoho profiliiu. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*. 2016. Vol. 53, No 3. С. 74-87. URL: https://www.researchgate.net/publication/331469914_STVORENNA_ONTOLOGII_PREDMETNOI_GALUZI_MAJBUTNIM_INZENEROM-PEDAGOGOM_KOMP'UTERNOGO_PROFILU [in Ukrainian]
17. Dosyn D.H., Darevych R.R., Shkutiak N.V. Rozrobka ontolohii materialoznavstva zasobamy Protégé-OWL. *Iskusstvennyiyy intellekt*. 2008. No 3. P. 70-77. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/6819/43-Dosin.pdf?sequence=1> [in Ukrainian]
18. Borgest N.M. Ontologiya proektirovaniya: teoreticheskie osnovy. Chast 1. Ponyatiya i printsipy. Samara: Izd-vo SGAU. 2010. 88 p. [in Russian]
19. ISO 15926. Industrial automation systems and integration—Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities. URL: <https://www.iso.org/ics/75.020/x/>
20. Andon F. I., Reznichenko V. A. Upravlyaemye slovari, taksononii, tezaursyii ontologii v semanticheskome vebe. *Inzhenerii aprohramnoho zabezpechennia*. 2013. No 13. P. 40-48. URL: <https://docplayer.com/72323777-Upravlyaemye-slovari-taksononii-tezaursy-i-ontologii-v-semanticheskome-vebe.html> [in Russian]
21. Fedorovych Ya. T. Mashyny ta obladnannia dlia vydobutku nafty I hazu : navch. posib. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2015. 344 p. [in Ukrainian]
22. Palagin O.V., Petrenko M.G. Some features of the construction of ontological domain models *Control systems and computers*. 2019. No 3. P. 23-37. URL: http://usim.org.ua/?page_id=7655&lang=en
23. Tudorache T., Noy N., Tu S., Musen M. Supporting Collaborative Ontology Development in Protégé. *The Semantic Web - ISWC 2008, 7th International Semantic Web Conference, ISWC 2008*. Karlsruhe, Germany. 2008. P.17-32. DOI:10.1007/978-3-540-88564-1_2.

24. Natalya F.N., McGuinness D.L. *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*. Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880. 2001. URL: <http://www.ksl.stanford.edu/people/dlm/papers/ontology-tutorial-noy-mcguinness-abstract.html>

25. *Ontologiiitezauryi: modeli, instrumentyi, prilozheniya* / Dobrov B. V., Ivanov V.V., Lukashevich N.V., Solovev V.D. M.: Binom. Laboratoriyaznaniy. 2009. 173 p. [in Russian]

26. GOST 7.25-2001 SIBID. *Tezaurus informatsionno-poiskovyyi odnoyazyich nyiy. Pravila razrabotki, struktura, sostavi forma predstavleniya. Mezhhosudarstvennyiy standart*. [Chynnyi vid 2001-05-22] – http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_7252001_SIBID_Tezaurus_in.html [in Russian]