

Ткаченко О.І., Ткаченко О.А., Цура В.В.

ВИКОРИСТАННЯ ВІМ-ОНТОЛОГІЙ ПРИ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ БУДІВНИЦТВА ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Розглянуто проблематику інтелектуалізації процесів будівництва з використанням ВІМ-онтологій на прикладі сфери будівництва об'єктів транспортної інфраструктури. Проаналізовано деякі аспекти, етапи та принципи розробки інтелектуальних систем (інформаційних систем з елементами інтелектуалізації). Визначено основні вимоги до інтелектуалізації процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури для вирішення широкого кола теоретичних і практичних проблем.

Онтологічний підхід ґрунтується на розумінні онтології як деякої універсальної форми подання знань. Онтологічне моделювання процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури та інтелектуалізація цих процесів сприяють вирішенню широкого кола задач проектування, будівництва та експлуатації цих об'єктів завдяки врахуванню факторів, що відображено у відповідній багаторівневій онтологічній моделі.

Наведено основні положення та інструментарій побудови онтології процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури для визначення метаонтології предметної області, що розглядається. Інструментарієм є мова опису онтологій OWL та редактор онтологій Protégé.

Інтелектуалізація процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури на основі ВІМ-онтологій обумовила наступне: висока геометрична точність конструкцій, що отримується за допомогою ВІМ-технологій, і можливість передачі даних у САПР-системи підвищують технологічність виробництва, скорочують час монтажу, дають можливість реалізувати складні архітектурні форми, мінімізують час розробки проєкту чи внесення до нього змін; необхідність розробки стандартів, які б закріпили статус інформаційної моделі (в тому числі й онтологічної); необхідність розвитку власного програмного забезпечення підтримки ВІМ-технологій. Розроблена багаторівнева онтологія сприяє термінологічній уніфікації та прискорює пошук інформації у базі знань відповідної інтелектуальної системи.

Ключові слова: онтологія, онтологічна модель, ВІМ-онтологія, метаонтологія, інтелектуальні системи, інтелектуалізація процесів, предметна область, OWL, Protégé, будівництво об'єкту транспортної інфраструктури.

Вступ. В наш час спостерігаються різноманітні за ступенем важливості тенденції, які обумовлюють вплив на будівельну галузь України та будівництво об'єктів транспортної інфраструктури. Однією з них є необхідність розробки інформаційних та/або інтелектуальних систем проектування, розробки та експлуатації об'єктів будівництва. Повнота та коректність сприйняття інформації щодо об'єктів будівництва та процесів, що відбуваються з цими об'єктами, залежать від багатьох факторів.

Інтелектуалізація процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури потребують вирішення багатьох проблем, зокрема, таких як:

— наявність спеціальних професійних термінів (професійної термінології, які можуть розумітися по-різному фахівцями у різних предметних областях як самої будівельної галузі, так і суміжних галузей (наприклад, освіти, транспорту, медицини, енергетики, тощо) або викликати складність у розумінні; все це обумовлює необхідність формування відповідного тезаурусу.

– подолання когнітивного бар'єру при вирішенні практичних задач, що потребують спільної діяльності різних представників як будівництва транспортної інфраструктури, так і, зокрема, транспортної галузі, енергетики, медицини, тощо.

Впровадження BIM-технологій (що ґрунтуються на використанні BIM-онтологій) у світі відбувається зростаючими темпами [1 – 3]. BIM активно застосовується у будівельній галузі України (наприклад, будівництво великих торговельно-розважальних центрів (Ocean Plaza у Києві), складних мультифункціональних об'єктів (укриття над ЧАЕС)).

Основними причинами повільного впровадження BIM в Україні, зокрема, є такі:

- Висока вартість програмних комплексів BIM.
- Рентабельність тільки для великих типових проєктів.
- Неврегульованість нормативної бази щодо статусу інформаційного моделювання.
- Неготовність інвесторів додатково вкладати у інформаційні моделі, що можуть бути використані не тільки при будівництві, але й при експлуатації об'єктів.
- Несумісність між різними програмними продуктами.
- Необхідність вироблення відповідних єдиних стандартів з передачі даних.

Постановка проблеми. Сучасні вимоги до процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури, аналіз деяких аспектів моделювання процесів такого будівництва надають можливість обґрунтування використання онтологічного підходу та семантичного моделювання процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури (будівель вокзалів, мостів, тунелів тощо).

Існуючі підходи до розробки інтелектуальних систем чи інформаційних систем з елементами інтелектуалізації на основі відповідного моделювання процесів предметної області, що розглядається, (в нашому випадку – це будівництво об'єктів транспортної інфраструктури) обумовили актуальність проблем моделювання процесів підготовки відповідного проєкту будівництва (експлуатації, тестування, ремонту тощо) об'єктів транспортної інфраструктури.

Наявні проблеми інтелектуалізації процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури є наслідком відсутності відповідних дій щодо єдиного професійного ресурсу сфери будівництва.

Тому проблема розробки систем інтелектуалізації процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури, що передбачає визначення технології ефективного та коректного використання інтелектуальних систем (інформаційних систем з елементами інтелектуалізації) на основі онтологічного підходу та семантичного моделювання, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Теоретичні основи моделювання складних систем (в тому числі й систем інтелектуалізації в сфері будівництва об'єктів транспортної інфраструктури) розглядалися такими вченими, як Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. [4], Лаврищева К.М. [5], Бернерс-Лі Т.Дж. [6], Герре Г., Полі Р., Хейлі М., Каміс А. [7], Субботін С.О. [8], Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. [9].

Підкреслюючи складність проблем, що стоять перед сучасною будівельною галуззю та різноманітними її сферами, слід розглядати проблеми дослідження будівельної галузі та вирішення її практичних і теоретичних задач за допомогою їхнього моделювання. Тому проблема розробки систем інтелектуалізації процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури на основі використання відповідних моделей (онтологічних, семантичних, когнітивних, продукційних, фреймових, графових тощо) є актуальною.

Мета дослідження. Основною метою роботи, що пропонується, є аналіз деяких аспектів моделювання об'єктів будівництва транспортної інфраструктури для подальшої розробки підходів до використання запропонованих моделей при розробці управлінських рішень щодо розвитку та вдосконаленню таких об'єктів, розширенню класу задач, які можуть вирішуватися за допомогою таких моделей. В якості моделі пропонується багаторівнева онтологічна модель, що ґрунтується на BIM-онтологіях.

Основний матеріал дослідження. Запропоноване вирішення перелічених проблем, пов'язане зі створенням способу універсального подання знань щодо предметної області, що

розглядається, у вигляді системи елементів предметної області, їх відношень та характеристик. Одним із способів такого представлення (подання) знань є, зокрема, онтологія [10 – 12]. Розглянемо процеси проектування та будівництва об'єктів транспортної інфраструктури, які виконуються з використанням інтелектуальних систем, розроблених на основі BIM-онтологій [1].

Проектування процесів будівництва складних об'єктів транспортної інфраструктури виконується великою кількістю учасників у середовищі, що динамічно змінюється, враховує нормування етапів будівництва, та з використанням інформаційних систем проектування (зокрема, САПР-систем), які стають підсистемами відповідних інтелектуальних (або інформаційних з елементами інтелектуалізації) систем.

Необхідність контролю всіх етапів проектування та будівництва об'єктів транспортної інфраструктури, зокрема контролю бюджетних коштів (коштів акціонерів, банків, інвесторів тощо), впливає на вибір відкритих стандартів проектування, заснованих на онтології, для управління інформацією про проектування та хід будівництва.

Проектування та будівництво об'єктів транспортної інфраструктури велося в режимі реального часу, коли дані про хід будівельних робіт та показання датчиків передавалися до інформаційної бази системи, яка є універсальною класифікаційною інформаційною системою з елементами інтелектуалізації, що узгоджує всі потоки даних, які надходять до системи.

Для цієї мети було застосовано класифікацію (класифікаційну онтологію BIM [2, 3]), процесів та відповідно об'єктів будівництва транспортної інфраструктури. Імовірність перегляду класифікаційної системи зумовила прийняття єдиного програмного рішення, щоб не залежати від частоти оновлення пакетного програмного забезпечення.

Класифікаційна онтологія BIM розроблялася за допомогою технології зв'язаних даних та веб-семантики (Linked Data and Semantic Web, LD/SW) [10, 11], що підтримуються Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO) та Консорціумом Всесвітньої павутини (W3C) [13]. В рамках проектування та будівництва об'єктів транспортної інфраструктури під BIM-онтологіями розумілися, зокрема:

- IFC-формати [14];
- різні відкриті формати та стандарти, що підтримують технологію LD/SW для форматування контенту для кінцевої точки (відкриті формати Turtle та SPARQL [15]);
- BIM-моделі, що використовуються для перевірки якості у форматі IFC 2x3 і IFC4.

Формати, що використовуються у технології при проектуванні та будівництві об'єктів транспортної інфраструктури, відкриті та розглядалися як невід'ємна частина BIM-онтологій. Концепція BIM-онтологій реалізована як концепція використання ifcOWL, IFC2x3, IFC4, відкритих стандартів ISO та W3C та інших.

Крім «базових www-стандартів» до них можна віднести, зокрема:

- середовище опису ресурсу RDF (*Resource Description Framework*) [17];
- RDFS – RDF-схему (*Resource Description Framework Schema*) [17];
- SPARQL – мова запитів RDF (*Resource Description Framework Query Language*);
- OWL – мова опису онтологій для семантичного павутиння (*Web Ontology Language*) [16].

Важливою частиною проєкту стала інтеграція онтології до програмного забезпечення відповідної інтелектуальної (чи інформаційної з елементами інтелектуалізації) системи. На етапі створення онтологія BIM була прив'язана до онтології ifcOWL для IFC 4.3, продемонструвавши, наскільки легко за допомогою технології LD/SW можна інтегрувати їх у прийняте програмне рішення.

Отримані онтологічні моделі були інтегровані в програмне забезпечення інтелектуальної системи, призначеної для прийняття рішень після проведення необхідного інспектування стану об'єктів транспортної інфраструктури, які використовують формат IFC. При проектуванні, будівництві та експлуатації (зокрема, інспектуванні стану) об'єктів транспортної інфраструктури найчастіше використовується наступне програмне забезпечення:

- Програмне забезпечення для визначення і створення онтологій (опису структури чи відповідного їх наповнення) (Protégé [18, 19], TopBraid Composer).

- Програмне забезпечення для прототипування та інспектування об'єктів транспортної інфраструктури (Areo, Quadri, StreamBIM).

Під час проєктування об'єктів транспортної інфраструктури було виконано, зокрема:

- переклад інформації з PDF-довідника BIM до електронної таблиці;
- застосування сценаріїв для доповнення найкращими практиками у сфері онтологічного моделювання;
- виділення в онтології BIM (заснованої на відкритих форматах RDF, RDFS та OWL) двох компонентів: класифікаційна структура та пов'язані властивості;
- перевірка забезпечення якості онтологій;
- публікація кінцевої точки SPARQL, яка дозволила постачальникам ПЗ використовувати SPARQL для доступу до класифікаційної структури;
- залучення постачальників програмного забезпечення, готових включити надані онтології у свої продукти.
- інтегрування та використання онтологій BIM у програмних рішеннях;
- тестування кінцевої точки SPARQL;
- завантаження turtle-файлів за посиланнями для більш глибокої інтеграції BIM-онтологій у проектні програмні рішення;
- експорт отриманих BIM-моделей у формат IFC-файлів та перевірка на Solibri.

Технологія LD/SW протягом багатьох років залишалася невід'ємною частиною технологічної платформи всередині будівництва SMART, нею було обумовлено і створення ifcOWL. Модернізація ініціативи галузевих базових класів (IFC) змусила звернути увагу на архітектуру, в основі якої лежать вебсервіси, та на LD/SW технологію зокрема, а описаний проєкт став чудовою ілюстрацією того, як швидко провайдери ПЗ можуть інтегрувати використання онтологій пов'язаних даних та вебсемантики у свої рішення в тому випадку, коли вони опубліковані у відкритому, стандартизованому та добре задокументованому форматі.

Аналіз міжнародного досвіду будівництва об'єктів транспортної інфраструктури зумовив необхідність розробки онтологічної моделі, яка:

- охоплює всі предметні галузі, пов'язані з проєктуванням, будівництвом та експлуатацією будівельних об'єктів;
- дозволить вибудувати комплексний взаємозв'язок між матеріальними сутностями (матеріали, машини та механізми) та виробничими сутностями;
- дозволяє ув'язати матеріальні та інформаційні сутності через підхід, що притаманний системній інженерії.

Запропонований підхід дозволить гармонійно вписати інформаційне моделювання у загальну онтологію будівельної галузі. Використання BIM-онтологій для формування (моделювання) багаторівневої онтології будівництва об'єктів транспортної інфраструктури обумовлено, зокрема, такими причинами, як:

- стандартизованість BIM-онтологій;
- наявність досвіду використання BIM-онтологій та аналізу результатів їх використання
- можливість побудови однакових концептуальних моделей предметної області.

Для побудови єдиної термінологічної бази в сфері будівництва об'єктів транспортної інфраструктури було розроблено багаторівневу онтологію.

Багато завдань потребують правильної й змістовної комунікації та інтеграції між інтелектуальними агентами та відповідними інформаційними ресурсами. Основною перешкодою для такої сумісності є семантична неоднорідність: різні додатки, бази даних та агенти можуть приписувати різні значення одним і тим самим термінам або використовувати різні терміни для передачі одного і того ж значення. Навіть коли програмні системи використовують одну й ту саму термінологію, вони можуть пов'язувати з тими самими термінами різну семантику. Це може перешкоджати безперервному та неускладненому такого роду протиріччям обміну інформацією

між інтелектуальними агентами, реалізованими у рамках відповідної інтелектуальної системи. Розробка та застосування онтологій відіграють центральну роль у досягненні семантичної інтеграції.

Онтологія – це специфікація, яка використовується інтелектуальним агентом, додатком або іншим інформаційним ресурсом для оголошення того, які терміни він використовує та що означають ці терміни. Онтології підтримують семантичну інтеграцію інтелектуальних (чи інформаційних з елементами інтелектуалізації) систем у вигляді загального розуміння термінології у відповідних онтологіях.

Онтологія (*Ontology*) визначає поняття, відносини та обмеження об'єктів у концептуальній моделі предметної області. Онтології можуть бути включені в будь-який додаток шляхом адаптації до специфічних потреб відповідної предметної області [10 – 12]. Онтологія підтримує комунікації між користувачами та компонентами системи і окремими компонентами системи між собою.

Створення онтологій у Protégé [18, 19] дозволяє розробнику оперувати такими поняттями, як класи (*Classes*), властивості об'єктів (*Object Properties*), властивості типу даних (*Data Properties*) та екземпляри (*Individuals*).

Багаторівнева онтологічна модель будь-якої предметної області передбачає, зокрема:

- формування онтології верхнього рівня (концептуальної моделі, метаонтології);
- формування онтологій (прикладних онтологій), які відображають різні підобласті предметної області, що розглядається.

Метаонтологія MO_D предметної області D включає опис:

- елементів (компонентів, об'єктів) O_D предметної галузі D ;
- передбачувані уявлення V_D (зокрема, погляду на проблеми аналізованої предметної області);
- принципи класифікації PK_D , які використовуватимуться для побудови концепцій в розглядаємій предметній області.

Метаонтологія предметної області може бути представлена у вигляді:

$$MO_D = \langle O_D, V_D, PK_D \rangle$$

Компоненти метаонтології MO_D можуть бути проаналізовані в рамках онтології верхнього рівня. Опишемо підхід, орієнтований на верхній рівень, до розробки онтологій процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури, який, зокрема, передбачає.

1. Специфікація предметної області та Протоонтологія

Предметна область визначається принципами класифікації та набором уявлень. Першим кроком є побудова специфікації предметної області. Зокрема, має бути встановлений опис об'єктів O_D предметної області D . Об'єкти будівництва транспортної інфраструктури визначаються передбачуваними уявленнями V_D а принципи класифікації PK_D забезпечують засоби для структурування множини об'єктів O_D .

Для побудови метаонтології, зазвичай, використовується інформація, що пов'язана з предметною областю, зокрема множина T_D термінів понять предметної області D – термінів, що позначають поняття предметної області. Система $PrO_D = \langle S_D, T_D \rangle$, що складається зі специфікації S_D предметної області D та набору термінів T_D , називається протоонтологією. Протоонтологія предметної області D містить відповідну інформацію, необхідну для подальшої розробки аксіоматизованої онтології предметної області D .

2. Концептуалізація.

Концептуалізація ґрунтується на протоонтології; результатом цього кроку є поступова концептуалізація, для цього необхідно визначити основні / елементарні поняття предметної області D . Обрані поняття належать або поняттям, позначеним термінами з множини T_D , або побудовані за допомогою принципів класифікації.

3. Аксіоматизація.

На цьому етапі розробляються аксіоми. Для цього потрібний формалізм, який може бути графічною структурою чи формальною мовою.

Аксиоматизована онтологія $O_D = \langle L_D, V_D, Ax(V_D) \rangle$ складається із структурованого словника V_D , який містить символи, що позначають категорії, індивідів та відношення між категоріями чи їх екземплярами, та множину аксіом $Ax(V_D)$, які є виразами формальної мови L_D . Множина аксіом $Ax(V_D)$ відображає значення символів V_D .

Розширення визначення $Ont_D = (L_D, V_D \cup S_{DF}, Ax(V_D) \cup DF)$, що містить множину визначень, які розширюють значення, та новий набір символів S_{DF} , введених відповідними визначеннями. Кожне явне визначення має вигляд $t = e(V_D)$, де $e(V_D)$ – вираз L_D , що використовує тільки символи з V_D (символ t не зустрічається в $e(V_D)$).

Онтологічне відображення M концептуалізації C_D в аксиоматизовану онтологію O_D визначається парою $M = \langle tr, DF \rangle$, що складається з визначального розширення Ont_D (за рахунок DF) і функцією tr . Онтологічне відображення концептуалізації D пов'язує з кожним терміном C_D еквівалентний формальний опис, що ґрунтується на формально аксиоматизованій онтології.

Висновки. Інтелектуалізація процесів будівництва об'єктів транспортної інфраструктури на основі ВІМ-онтологій обумовила наступні висновки:

- Висока геометрична точність конструкцій, що отримується за допомогою ВІМ-технологій (які ґрунтуються на використанні ВІМ-онтологій), і можливість передачі даних у САМ-системи (чи САІР-системи) значно підвищують технологічність виробництва і скорочують час монтажу та дають можливість реалізувати складні архітектурні форми, мінімізують терміни на розроблення проєкту чи внесення до нього змін.
- Розроблена багаторівнева онтологія сприяє термінологічній уніфікації та прискорює пошук інформації у відповідній базі знань інтелектуальної системи.
- Необхідність розробки стандартів, які повинні містити опис та закріпити статус інформаційної моделі (в тому числі й онтологічної).
- Необхідність розвитку власного спеціалізованого програмного забезпечення підтримки ВІМ-технології.

ЛІТЕРАТУРА

1. Левченко О.В. ВІМ – стандарт проєктної організації. // Сучасні проблеми архітектури та містобудування, 2018. Вип. 50. С. 65-69.
2. ВІМ-онтології. URL: <http://rdf.vegdata.no/BIM/BIM-owl>,
3. ВІМ-онтології. URL: <http://rdf.vegdata.no/BIM/BIM-brudata-owl>.
4. Rogushina J., Gladun A. Ontology-based competency analyses in new research domains. //Journal of Computing and Information Technology, 2012. Vol. 20(4). P. 277-291
5. Lavrisheva E. Ontological Approach to the Formal Specification of the Standard Life Cycle. //Science and Information Conference-2015 (July 28-30, 2015, UK, London). p.965-972.
6. Berners-Lee T.J. Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. The MIT Press, 2005.
7. Herre H., Poli R., Healy M., Kameas A. General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology for Conceptual Modelling // Theory and Applications of Ontology: Computer Applications. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. P. 297–345.
8. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень. Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. 341 с.
9. Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю.В. Інтелектуальні системи. Львів: Новий Світ–2000, 2013. 406 с.
10. Guarino N. Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. //Int. J. of Human Computer Studies, 2015. Vol. 43(5/6). P. 625-640.
11. Kasenchak B., Lehnert A.E. Introduction to Ontology Concepts and Modeling. URL: <https://boxesandarrows.com/introduction-to-ontology-concepts-and-modeling/>

12. Qiao L., Qie Yi., Zhu Z., Zhu Yi., Khaleeq U. An ontologybased modelling and reasoning framework for assembly sequence planning. //International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017. 94 (9-12). P.4187–4197. DOI: 10.1007/s00170-017-1077-4.
13. Semantic Annotations for WSDL and XML Schema. W3C Recommendation. URL: <http://www.w3.org/TR/sawSDL/>
14. Що таке файл IFC? URL: <https://docs.fileformat.com/uk/cad/ifc/>.
15. SPARQL query with Turtle file (Public data source). URL: <https://stackoverflow.com/questions/42598618/sparql-query-with-turtle-file-public-data-source>
16. OWL. Web Ontology Language. URL: <http://www.w3.org/>
17. Allemang D., Hedler J.A. Semantic web for the working ontologist modeling in RDF, RDFS and OWL. Morgan Kaufmann, 2008. 352 p.
18. Rubin D.L., Knublauch H., Fergerson R.W., Dameron O., Musen M.A. Protégé-OWL: Creating Ontology-Driven Reasoning Applications with the Web Ontology Language. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1560433/>
19. Protégé. URL: <http://protege.stanford.edu/>

REFERENCES

1. Levchenko O.V. (2018). BIM is a project organization standard [BIM – standart proektnoyi orhanizatsiyi] // Modern problems of architecture and urban planning. [Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya]. Vol. 50. P. 65-69. (in Ukrainian).
2. BIM-ontologies. [BIM-ontolohiyi]. URL: <http://rdf.vegdata.no/BIM/BIM-owl>. (in Ukrainian).
3. BIM- ontologies. [BIM-ontolohiyi]. URL: <http://rdf.vegdata.no/BIM/BIM-brudata-owl>. (in Ukrainian).
4. Rogushina J., Gladun A. (2012). Ontology-based competency analyses in new research domains. //Journal of Computing and Information Technology. Vol. 20(4). P. 277-291
5. Lavrischeva E. (2015). Ontological Approach to the Formal Specification of the Standard Life Cycle. //Science and Information Conference-2015 (July 28-30, UK, London). P. 965-972.
6. Berners-Lee T.J. (2005). Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential. The MIT Press.
7. Herre H., Poli R., Healy M., Kameas A. (2010). General Formal Ontology (GFO): A Foundational Ontology for Conceptual Modelling // Theory and Applications of Ontology: Computer Applications. Dordrecht: Springer Netherlands. P. 297–345.
8. Subbotin S.O. (2008). Representation and processing of knowledge in artificial intelligence and decision support systems. [Podannya y obrobka znan' u systemakh shtuchnoho intelektu ta pidtrymky pryynyattya rishen']. Zaporizhzhia [Zaporizhzhya]: ZNTU. 341 p. (in Ukrainian).
9. Lytvyn V.V., Pasichnyk V.V., Yatsyshyn Yu.V. (2013). Intelligent systems [Intelektual'ni systemy]. Lviv [L'viv]: Novy Svit–2000 [Novyy Svit–2000]. 406 p. (in Ukrainian).
10. Guarino N. (2015). Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. //Int. J. of Human Computer Studies. Vol. 43(5/6). P. 625-640.
11. Kasenchak B., Lehnert A.E. Introduction to Ontology Concepts and Modeling. URL: <https://boxesandarrows.com/introduction-to-ontology-concepts-and-modeling/>
12. Qiao L., Qie Yi., Zhu Z., Zhu Yi., Khaleeq U. (2017). An ontologybased modelling and reasoning framework for assembly sequence planning. //International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 94 (9-12). P.4187 - 4197. DOI: 10.1007/s00170-017-1077-4.
13. Semantic Annotations for WSDL and XML Schema. W3C Recommendation. URL: <http://www.w3.org/TR/sawSDL/>
14. What is a file IFC? [Shcho take fayl IFC?] URL: <https://docs.fileformat.com/uk/cad/ifc/>. (in Ukrainian).
15. SPARQL query with Turtle file (Public data source). URL: <https://stackoverflow.com/questions/42598618/sparql-query-with-turtle-file-public-data-source>

16. OWL. Web Ontology Language. URL: <http://www.w3.org/>
17. Allemang D., Hedler J.A. (2008). Semantic web for the working ontologist modeling in RDF, RDFS and OWL. Morgan Kaufmann. 352 p.
18. Rubin D.L., Knublauch H., Fergerson R.W., Dameron O., Musen M.A. Protégé-OWL: Creating Ontology-Driven Reasoning Applications with the Web Ontology Language. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1560433/>
19. Protégé. URL: <http://protege.stanford.edu/>

Tkachenko O.I., Tkachenko O.A., Zura V.V.

USE OF BIM-ONTOLOGIES IN THE INTELLECTUALIZATION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS CONSTRUCTION PROCESSES

Problems of intellectualization of construction processes and their modeling using BIM-ontologies are considered on the example in the field of construction of transport infrastructure objects. Some aspects, stages and principles of development of intelligent systems (information systems with elements of intellectualization) are analyzed. The main requirements for intellectualization of the processes of construction of transport infrastructure objects to solve wide range of theoretical and practical problems have been determined.

Ontological approach is based on understanding of ontology as universal form of knowledge presentation. Ontological modeling of construction processes of transport infrastructure objects and intellectualization of these processes contribute to solving wide range of problems of designing, building and operating these objects thanks to consideration of factors reflected in corresponding multi-level ontological model.

Main provisions and tools for building ontology of construction processes of transport infrastructure objects to determine meta-ontology of subject area under consideration are presented. The toolkit is ontology description language OWL and ontology editor Protégé.

Intellectualization of construction processes of transport infrastructure objects on the basis of BIM ontologies led to following: high geometric accuracy of constructions, obtained with help of BIM technologies, and possibility of data transfer to CAD systems increase the manufacturability of production, reduce installation time, make it possible to implement complex architectural forms that minimize time of project development or making changes to it; the need to develop standards that would secure the status of information model (including ontological); the need to develop own software to support BIM technology. The developed multi-level ontology contributes to terminological unification and accelerates search for information in knowledge base of corresponding intelligent system.

Keywords: *ontology, ontological model, BIM-ontology, meta-ontology, intelligent systems, intellectualization of processes, subject area, OWL, Protégé, construction of transport infrastructure object.*