

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Давидовського Максима Володимировича**
«Модель та метод міграції екземплярів онтологій
у децентралізованих системах»

на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання
та обчислювальні методи

1. Актуальність теми дисертації. Сучасний стан розвитку інформаційних систем характеризується широким застосуванням сховищ або баз знань, що подані у формі онтологій. Засновані на знаннях системи є невід'ємною часткою геоінформаційних, біомедичних, інженерно-проектувальних та багатьох інших інформаційних систем промислового, академічного та громадського призначення. Ситуація, коли подібні системи повинні взаємодіяти між собою на рівні спільного використання знань є типовим явищем.

Однак, навіть у випадку коли ці знання семантично перетинаються, їх онтологічні схеми як правило не узгоджені між собою, що суттєво ускладнює, або робить неможливим спільне використання поданих таким чином знань без попередньої обробки та підготовки. Тому, онтології інформаційних систем, які взаємодіють, повинні бути узгоджені, що вимагає застосування спеціальних механізмів та інструментів. Як правило, таке узгодження здійснюється інженерами онтологій практично в ручному режимі з використанням редакторів онтологій. З огляду на сьогоднішні великі обсяги накопичених знань, їх гетерогенність, полісемічність та динамічність, ефективне виконання такої роботи вручну є неможливим. Ще одна проблема, що ускладнює роботу з заснованими на знаннях системами, полягає в тому, що зберігання і використання цих знань відбувається в умовах, коли ці системи є розподіленими і децентралізованими. Таким чином, гостро постає задача вирівнювання і узгодження онтологій у децентралізованих системах, що тягне за собою необхідність міграції великої кількості асерцій (екземплярів онтологій), що може супроводжуватися їх трансформацією і перекласифікацією. Отже, науково-технічна задача розробки нових та удосконалення існуючих моделей і методів вирівнювання онтологій, обчислювальних методів і алгоритмів міграції екземплярів, та забезпечення ефективних програмних засобів, що реалізують ці моделі та методи у децентралізованих системах, є актуальною та практично значущою.

2. Загальна характеристика дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку посилань та 6 додатків. Повний текст дисертації становить 232 сторінки, основна частина –



150 сторінок, додатки – 40 сторінок. Дисертація містить 34 рисунки, 28 таблиць та перелік посилань, що містить 204 літературних джерела.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження; наведено інформацію про зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами; сформульовано мету та завдання дослідження, визначені об'єкт, предмет та методи дослідження; представлено методи, використані в дослідженні; висвітлені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, показано достатньо суттєвий особистий внесок здобувача в роботах, виконаних у співавторстві; представлено апробацію результатів дисертації та кількість публікацій, виконаних за темою дисертаційної роботи; наведено дані про структуру та обсяг дисертації; зроблено короткий огляд змісту роботи.

Об'єкт дослідження – процес міграції екземплярів онтологій у децентралізованих системах.

Предмет дослідження – математична моделі та обчислювальний метод вирівнювання онтологій та міграції екземплярів у децентралізованих системах, методи взаємодії інтелектуальних програмних агентів.

Метою дисертаційної роботи є вирішення задачі міграції екземплярів онтологій у розподілених децентралізованих системах шляхом розробки нової математичної моделі вирівнювання і узгодження онтологій, методу узгодженої та обчислювально ефективною міграції екземплярів, реалізації моделі і методу у програмному засобі для підвищення ефективності обміну знаннями між децентралізованими інформаційними системами, що базуються на знаннях, та повторного використання знань у разі еволюції систем.

Для досягнення мети у роботі поставлені та виконані такі завдання:

- розробити модель та метод для знаходження відображення онтологій, узгодження онтологічних схем і міграції екземплярів онтологій, придатні до реалізації у розподілених та децентралізованих системах; довести валідність розробленої моделі; довести збіжність розробленого методу;

- реалізувати розроблені модель та метод у програмному прототипі, що обчислює відображення онтологій, узгоджує схеми, генерує правила трансформацій та здійснює міграцію екземплярів онтологій у децентралізованих системах;

- провести експериментальну оцінку отриманих результатів, валідності запропонованих моделі та методу, а також їхньої застосовності до реальних промислових онтологій, з урахуванням масштабованості.

Методи дослідження базуються на використанні дескрипційних логік, теорії графів, теорії ревізії переконань, еволюційних обчисленнях, математичному апарату формальної логіки, теорії множин, теорії алгоритмів,

теорії обчислювальної складності, загальної алгебри та загального наукового методу.

У першому розділі наведено аналіз сучасного стану досліджень у вирішенні завдань вирівнювання онтологій та міграції екземплярів. Показано що, на час проведення дослідження, вирішення цих завдань вимагає значних ручних зусиль, тому необхідні нові ефективні автоматизовані методи та програмні засоби. На основі аналізу автор запропонував класифікацію задач вирівнювання онтологій і визначив задачу міграції екземплярів (ME) у децентралізованих системах як асерторичну статичну однонаправлену розподілену задачу вирівнювання онтологій. У розділі наведено основні поняття та визначення, що використовуються в контексті вирівнювання онтологій, проаналізовано вимоги до методів та програмних засобів, сучасні методи вирівнювання онтологій та міграції екземплярів. Аналіз показав, що існуючі підходи не дозволяють гарантувати узгодженість онтологій під час вирівнювання онтологій та міграції екземплярів без застосування допоміжних інструментів, які вимагають участі людини; відсутні можливості перевірки та забезпечення раціональності та оптимальності трансформацій онтологій; незначна увага приділяється методам на основі графів, а також вирішенню задач у розподілених та децентралізованих системах; відсутні відомі програмні реалізації методів міграції екземплярів у децентралізованих системах, а також обчислювально ефективні методи вирівнювання онтологій, що мають великі асерторичні частини (наприклад, промислові або біомедичні онтології). У результаті аналізу було визначено вимоги до методів і засобів вирівнювання онтологій у децентралізованих системах та до дієвих та ефективних програмних рішень; показано необхідність розробки нових математичних моделей, обчислювальних методів та програмних засобів, продемонстровано перевагу графових методів узгодження онтологій та агентського підходу для програмної реалізації у децентралізованих системах. Отримані у першому розділі висновки визначили актуальність і важливість розв'язання задач вирівнювання онтологій у децентралізованих системах та дозволили сформулювати постановку задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі сформульовано загальну математичну постановку задачі дослідження. Представлено математичний апарат, який є базою для розроблених у дисертаційному дослідженні моделей і методів, та переважно покладається на 4 теорії: дескрипційні логіки, теорію графів, теорію ревізії переконань, семантичні контексти і теорію типів. Дескрипційні логіки SHIF(D) і SHOIN(D) лежать в основі мов подання онтологій OWL-DL та OWL-Lite і використовуються для формального подання знань, яке дозволяє природно реалізувати логічний вивід.

Також представлено розроблений автором метод визначення ізоморфізму графів, на базі якого було розроблено метод визначення бінарної відповідності графів схем онтологій. Вводяться визначення понять

ізометричного циклу і центрального розрізу графа, а також базового реберного розрізу та характеристичного кортежу реберного розрізу. Показано що множина базових реберних розрізів не залежить від нумерації вершин графа. На основі цієї властивості будується повний інваріант графа, який дозволяє знаходити неточне відображення графів з прийнятною обчислювальною складністю.

Таким чином, у розділі 2 розроблені та вперше запропоновані: фрагментарна модель відображення онтологій та узгодження схем; фрагментарні методи побудування множин онтологічних контекстів; метод визначення бінарної відповідності графів схем онтологій на основі спектрів реберних розрізів графів; ітераційний метод міграції екземплярів онтологій; шаблони та правила трансформацій онтологічних екземплярів; формальна мова специфікації правил трансформації. Доведено теорему про ізоморфізм графів. Отримали подальший розвиток: математичні моделі ревізії переконань у дескрипційних логіках; моделі подання знань у децентралізованих системах, зокрема, математичні моделі семантичних контекстів; методи смислових переговорів інтелектуальних програмних агентів; міри семантичної пов'язаності.

У **третьому розділі** представлені розроблені автором алгоритми для відображення онтологій та узгодження схем, які використовують моделі та міри, викладені у розділі 2, і реалізують запропоновані методи. Розділ розпочинається з базових припущень та обмежень. Доведено збіжність процесу узгодження на основі стратегії автоматизованих смислових переговорів, як наслідок серії взаємовигідних поступок агентів у переговорах, монотонного зменшення семантичної відстані між контекстами від раунду до раунду, та скінченності розбиттів онтологій на контексти. Доведена раціональність операторів трансформації, які використовуються для міграції екземплярів, формально представлений алгоритм вирішення задачі міграції екземплярів, відповідно до постановки у розділі 2, та його реалізація у вигляді підсистеми міграції екземплярів як частини розробленого програмного рішення.

У **четвертому розділі** описуються експерименти, які проводились для оцінки моделей і методів та їх реалізації, з використанням двох програмно-інструментальних середовищ на основі онтологій *Ontology Alignment Evaluation Initiative (OAEI)* та набору даних *BauDataWeb*. Надані постановки експериментів, їх результати, аналіз та висновки. Під час експериментів оцінювалися точність, повнота та обчислювальна ефективність програмного засобу, наведено результати серії експериментів для визначення обчислювальної ефективності програмної реалізації на етапі виявлення відображень онтологій та узгодження схем.

У **висновках** підкреслено отримання нових науково обґрунтованих результатів в області математичного моделювання та обчислювальних методів, що у сукупності вирішують важливу наукову задачу – вирівнювання гетерогенних онтологій та гармонізації знань у децентралізованих системах

шляхом знаходження відображень онтологічних контекстів, узгодження онтологічних схем та міграції екземплярів на основі смислових переговорів між інтелектуальними програмними агентами. Розв'язання цієї задачі сприяє вирішенню проблем гетерогенності знань у децентралізованих системах та забезпеченню їх інтероперабельності.

У **додатках** представлені: список праць, які опубліковані за темою дисертації; списки рисунків і таблиць; варіанти використання та застосування вирівнювання онтологій, задіяні інструменти, прикладні програмні інтерфейси та фреймворки; опис процедури виділення ізоморфного підграфа; відомості щодо математичного апарату дескрипційних логік та ревізії переконань.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій. Вивчення матеріалів дисертаційної роботи, автореферату та публікацій дає можливість стверджувати, що усі суттєві наукові результати викладені ґрунтовно. Обґрунтованість результатів забезпечується строгістю і коректністю постановки та розв'язання поставлених у роботі завдань.

В процесі виконання роботи отримано наступні наукові результати.

Уперше:

- розроблено фрагментарну модель відображення онтологій та узгодження схем, формальну модель шаблонів і правил трансформації екземплярів, що реалізовано за допомогою розробленої формальної мови;
- розроблено фрагментарні методи побудови множин онтологічних контекстів, метод побудови бінарної відповідності графів онтологічних схем, фрагментарні й еволюційно-фрагментарні методи знаходження відображень та узгодження схем онтологій;
- розроблено ітеративний метод міграції та популяції екземплярів та, на основі методу, розроблено програмний засіб міграції екземплярів онтологій у децентралізованих та розподілених системах.

Набули подальшого розвитку:

- моделі узгодження розподілених онтологій, ревізії переконань у дескрипційних логіках, смислових переговорів інтелектуальних програмних агентів.

Вдосконалено:

- методологію міграції екземплярів онтологій у децентралізованих системах.

Результати, отримані у дисертаційній роботі, є науково обґрунтованими, що підтверджується кількістю та якістю публікацій та апробацій. Усі основні положення та результати дослідження опубліковані у виданнях, у відповідності до вимог щодо публікації результатів дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, та пройшли апробацію з позитивною оцінкою, на міжнародних наукових конференціях, симпозіумах та семінарах.

4. Достовірність і новизна наукових положень, висновків та рекомендацій. Достовірність отриманих результатів і висновків роботи забезпечено коректністю математичних постановок розглянутих задач; строгістю використання математичних методів; збіжністю в обчислювальних експериментах з використанням відкритих даних – тестового набору онтологій – Ініціативи з оцінювання вирівнювання онтологій (OAEI – *Ontology Alignment Evaluation Initiative*, oaei.ontologymatching.org), та реальних промислових онтологій – набору даних ринку європейських будівельних та конструкційних матеріалів для Семантичного Вебу (*BauDataWeb*, <http://semantic.eurobau.com/>); узгодженістю результатів експериментів з еталонними даними.

Сформульовані в дисертації наукові положення, висновки і рекомендації впливають безпосередньо з теоретичних та експериментальних результатів проведених досліджень.

5. Практична значущість дисертаційної роботи для науки і виробництва. Усі теоретичні розробки, виконані під час роботи над дисертацією, напрацьовані автором задля створення цілісної методології, що включає в себе спеціальні техніки та алгоритми для ефективної міграції екземплярів онтологій у децентралізованих системах. Для підтримки створеної автором методології розроблено інструмент у вигляді програмного прототипу на основі розвитку існуючих і розробки нових моделей і методів. Підтвердженням практичної цінності отриманих результатів є їх використання для вирівнювання промислових баз знань у галузі будівельних і конструкційних матеріалів та послуг, а також веб-онтологій продуктів та послуг (веб словник для електронної комерції *GoodRelations*, онтологія будівельних та конструкційних матеріалів та сервісів *freeClass*, веб онтологія продуктів та сервісів *eClassOWL*, європейська база даних будівельних та конструкційних матеріалів Семантичного вебу – *BauDataWeb*). Результати проведених оціночних експериментів показали, що розроблені у дисертаційному дослідженні моделі та методи можуть бути використані для вирівнювання гетерогенних онтологій та міграції екземплярів онтологій у промислових системах, заснованих на знаннях. Також має важливе практичне значення застосування розроблених моделей та методів для узгодження й гармонізації веб-онтологій. Результати дослідження надають засоби для сприяння обміну знаннями між різними системами, що базуються на знаннях, і для підтримки повторного використання знань у розподілених системах, що еволюціонують.

6. Повнота викладу результатів роботи в наукових фахових виданнях. За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 20 наукових праць (4 без співавторів). Серед них: 7 статей у збірниках наукових праць міжнародних конференцій; 7 статей у міжнародних журналах; 4 статті

у журналах, включених до Переліку наукових фахових видань України з фізико-математичних наук. 9 робіт опубліковано у виданнях, що проіндексовані наукометричною базою даних «Scopus».

Основні положення дисертації доповідались, обговорювались та пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях, симпозиумах та семінарах: IV International Symposium on Intelligent Distributed Computing (IDC 2010); IV International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2012); II International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (WIMS'12); IV International United Information Systems Conference (UNISCON 2012); VIII, IX International Conferences on ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTERI 2012, 2013); XVIII та XXII міжнародних науково-практичних семінарах «Комбінаторні конфігурації та їх застосування» (2016 та 2020); XIX міжнародній конференції з математичного моделювання, присвяченій 250-річчю з дня народження Ж. Б. Ж. Фур'є (МКММ-2018); доповідались та обговорювались на науковому семінарі кафедри Комп'ютерних наук Запорізького національного університету.

Дисертація Давидовського Максима Володимировича «Модель та метод міграції екземплярів онтологій у децентралізованих системах» є завершеною науковою працею, написана на достатньому науковому рівні, форма викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує легкість та доступність їх сприйняття фахівцями у відповідній галузі науково-технічних знань. Робота добре ілюстрована й не перевантажена зайвим матеріалом.

Зміст дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, за якою вона подана до захисту, і профілю спеціалізованої вченої ради К 17.051.06.

Автореферат дисертації відображає основний зміст, положення та висновки дисертаційної роботи.

7. Дискусійні положення дисертаційної роботи та зауваження. У цілому, оцінюючи дисертаційну роботу, слід звернути увагу на такі зауваження і дискусійні положення.

7.1. У першому розділі при аналізі літератури недостатньо висвітлено внесок вітчизняних вчених у розвиток методів взаємодії інтелектуальних програмних агентів у мультиагентних системах.

7.2. В авторефераті дуже стисло подана процедура побудови нової фрагментарної структури на базі структурних чисел в описі розробленого еволюційно-фрагментарного алгоритму, що не дозволяє цілком зрозуміти формат вихідних даних алгоритму та не сприяє розумінню алгоритму в цілому.

7.3. Недостатньо уваги відведено розгляду альтернативних підходів до узгодження онтологічних схем за допомогою методів теорії графів.

7.4. Було б доцільно навести порівняння запропонованого у дисертації методу узгодження онтологій на основі пошуку бінарної відповідності графів схем онтологій з існуючими методами на основі графів, а також іншими класами методів; проаналізувати обчислювальну складність існуючих методів та співвіднести її з аналізом запропонованого методу.

7.5. В роботі недостатньо висвітлені деталі роботи інтелектуального інтерфейсу генерації правил трансформації екземплярів онтологій, виходячи з цього не в повній мірі є зрозумілим застосований механізм автоматичного логічного виводу.

7.6. В тексті дисертації й автореферату є певна кількість синтаксичних та орфографічних помилок, які, втім, не мають суттєвого впливу на сприйняття змісту роботи. Текст містить достатньо велику кількість скорочень та аббревіатур, має де-які стилістичні недоліки.

Проте, зазначені вище зауваження не мають принципового характеру, не знижують загального наукового рівня дисертації та не впливають на позитивну оцінку роботи. Більшою мірою їх треба розглядати як побажання щодо подальших досліджень автора.

8. Загальний висновок. Дисертаційна робота Давидовського Максима Володимировича «Модель та метод міграції екземплярів онтологій у децентралізованих системах» є завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності є рішенням важливої науково-технічної задачі. Робота відповідає паспорту спеціальності, існуючим вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», які висуваються до кандидатських дисертацій, і рекомендується до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:
завідувач кафедри
комп'ютерних наук
та інформаційних технологій
Харківського національного університету
міського господарства імені О.М. Бекетова,
доктор фізико-математичних наук, професор

М. В. Новожилова

Підпис	<i>М. В. Новожилова</i>
Засвідчую:	<i>наг</i>
Відд. Кал.	<i>02 - 04 2021</i>



О. Романенко