ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувач кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка» Шаховська Наталія Богданівна
на дисертаційну роботу Мельника Андрія Миколайовича
«Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

1. Актуальність теми дослідження та зв'язок з науковими програмами, планами та темами

Знання–орієнтовані системи використовуються для розв'язування широкого кола задач підтримки прийняття рішень. Автором дисертаційної роботи запропоновано розробку та використання цих систем, як для різних прикладних задач, де основою є математичні моделі для прийняття рішень, так і в оригінальний спосіб - для підтримки процесів розробки самих математичних моделей складних об'єктів. Саме цей напрям наукових досліджень в найбільшій мірі розглянуто в дисертаційній роботі.

В умовах невизначеності, проблема математичного моделювання складних об'єктів пов'язані із забезпеченням оптимуму на основі протирічних критеріїв: з одного боку, математична модель повинна бути простою, а з іншого - задовольняти вимоги до точності та адекватності, необхідних для відображення властивостей об'єкта. При застосуванні індуктивного підходу до побудови математичної моделі невизначеність при її побудові в основному пов'язана із неточністю результатів експерименту. Інтервальний підхід до урахування невизначеності в експериментальних даних дає можливість реалізувати структурну та параметричну ідентифікацію моделі на підставі отриманих результатів спостережень у вигляді числових інтервалів характеристики об'єкта. При цьому вирішується основна проблема математичного моделювання складних об'єктів, а саме отримані математичні моделі у вигляді інтервальних різницевих рівнянь мають гарантовані прогностичні властивості в межах визначених числовими інтервалами експериментальних даних. Проте, такий підхід, на відміну від стохастичного підходу, призводить до зростання обчислювальної складності процедур ідентифікації.

В основі вирішення цієї проблеми зростаючої складності обчислень, автором запропоновано та обґрунтовано поєднання методів аналізу інтервальних даних та знання-орієнтованого підходу на основі онтологій. Тому, тема дисертаційної роботи Мельника А.М. «Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів». Запропонований підхід до вирішення обчислювальної проблеми, уможливив зниження обчислювальної складності методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів.

Актуальність теми дослідження підтверджується тим, що напрям досліджень дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напряму «Інформаційні та комунікаційні технології», відповідно до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки».

Дисертаційна робота виконана також у межах наукових досліджень, які виконувалися за тематикою кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету: "Математичне та комп'ютерне моделювання об'єктів з розподіленими параметрами на основі поєднання онтологічного та інтервального аналізу" (2022-2024 рр., № держреєстрації 0122U001497, відповідальний виконавець); "Розвиток систем підтримки прийняття рішень, керованих моделями та даними в умовах невизначеності." (2022-2023 рр., № держреєстрації 0122U001497, відповідальний виконавець); "Математичне та програмне забезпечення для класифікації тканин хірургічної рани в процесі операції на органах шиї" (2017-2018 рр., № держреєстрації 0117U000410), а також ряду науково-дослідних робіт за госпдоговірною тематикою, в яких автор був відповідальним виконавцем.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Мельника А.М. в основному повністю обґрунтовано.

Наукові положення дисертаційної роботи, висновки і рекомендації ґрунтуються на методах теорії систем, теорії ідентифікації математичних моделей, методах математичного моделювання, інтервальної математики, теорії ймовірностей та математичної статистики, а також на мета евристичних методах чисельної оптимізації. Для побудови онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних використано системний підхід та методи реляційної алгебри. Для реалізації комп'ютерного середовища та генерування інструментальних засобів моделювання складних об'єктів використано системний підхід та об'єктно-орієнтований підхід. Наукова новизна, висновки сформульовані до усіх розділів дисертації, а також загальні висновки по роботі мають коректне наукове обґрунтування. Теоретичне підґрунтя, логічна послідовність проведених досліджень, експериментальні підтвердження та результати комп'ютерної симуляції запропонованих методів забезпечують обґрунтованість та достовірність отриманих результатів.

3. Наукова новизна результатів дослідження

У дисертаційній роботі сформульовано ряд наукових положень, які обґрунтовано теоретично та експериментально. Наукова новизна, сформульована здобувачем, засвідчує вагомий внесок здобувача у розвиток наукового напрямку – математичне моделювання та обчислювальні методи в галузі технічних наук.

Наукова новизна роботи:

1) Вперше запропонована нова концепція ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу

інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта так і області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології, що у сукупності створило можливість розробки нових, більш ефективних з обчислювальної точки зору методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей об'єктів;

2) Запропоновано та обґрунтовано новий гібридний метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих ґрунтується на поєднані методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолиної колоній та знання-орієнтованому підході опису предметної області об'єктів на основі онтології, що у сукупності забезпечило зниження обчислювальної складності структурної ідентифікації.

3) Вперше при розробці комп'ютерного середовища для інтервального моделювання, запропонованого та обґрунтовано метод верифікації моделей, який на відміну від існуючих ґрунтується на поєднанні методу фільтрування даних та застосуванні метрики оцінки актуальності інформації, що у сукупності забезпечує повноту моделі та знижує обчислювальну складність на її ідентифікацію.

4) Вперше розроблено інтервальну дискретну модель у вигляді різницевого рівняння, що описує динаміку реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж, в якій на відміну від існуючих, враховано реакції користувачів на інформаційні повідомлення, що дало змогу побудувати їх стійкий портрет та оптимальний розклад публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення.

5) Розроблено нове комп'ютерне середовище для математичного моделювання на основі інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яке на відміну від існуючих ґрунтується на знання-орієнтованому підході опису області побудови даного класу математичних моделей із застосуванням онтології, що забезпечує його адаптацію та інтерпретацію в програмний код під задану предметну область та під конкретні вимоги користувача.

6) Удосконалено метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих, містить обчислювальні процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів у спосіб встановлення для кожного елемента множини структурних елементів ймовірності вибору будь-якого елемента і на основі зміни цього розподілу на різних фазах поведінкової моделі бджолиної колонії, що у сукупності знижує обчислювальну складність реалізації методу.

7) Набули подальшого розвитку комп'ютерні середовища для інтервального моделювання та аналізу даних, в який на відміну від існуючих реалізована відкрита архітектура програмного забезпечення, що у сукупності забезпечує зниження часової складності процедур як розробки так і застосування інтервальних математичних моделей;

8) Набув подальшого розвитку репозиторій інтервальних дискретних моделей забруднення атмосфери автотранспортом та інтервальні моделі візуалізації зворотного гортанного нерву під час операції на щитовидній залозі який, на відміну від існуючих, вміщує онтологічний опис як предметної області їх застосування, так і умови розробки цих моделей, що у сукупності спрощує процедури розробки зазначеного класу математичних моделей для користувачів.

Отримані наукові результати відзначаються цілісністю щодо вирішення проблеми зниження обчислювальної складності реалізації методів ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів з одночасним забезпеченням гарантованої точності цих моделей.

4. Зміст дисертації та відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота містить такі частини: анотація, список опублікованих дисертантом праць, вступ, шість розділів, висновки, спискок використаних джерел та додатки. Зміст дисертації, її логічне викладення повністю відповідає поставленим завданням дослідження. Рукопис дисертації характеризується завершеністю, щодо вирішення поставленої мети.

У *вступі* наведено обґрунтування актуальності теми дослідження, вказано на зв'язок з науковими програмами та тематикою досліджень кафедри комп'ютерних наук ЗУНУ. Також сформульовано мету, завдання, окреслено об'єкт і предмет дисертаційного дослідження, сформульовано наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження. Наведено інформацію про апробацію результатів досліджень. Подано опис структури та обсягу дисертації.

Перший розділ присвячено обґрунтуванню завдань дослідження. На основі аналізу класу систем, орієнтованих на знання та моделі, обґрунтовано використання для побудови таких моделей індуктивного підходу. Далі проведено аналіз методів та засобів ідентифікації моделей характеристик складних об'єктів в умовах невизначеності. Проведено компаративний аналіз недоліків та переваг методів індуктивного підходу при побудові математичних моделей і обґрунтовано використання методів аналізу інтервальних даних. Наведено постановки задач структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей у вигляді різницевих рівнянь. Для зниження обчислювальної складності реалізації методів ідентифікації інтервальних моделей наведено обґрунтування використання знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваних об'єктів так і області побудови математичних моделей цих об'єктів. Проведено детальний аналіз застосування методів знання-орієнтованого підходу і обґрунтовано використання знань про предметну область у вигляді онтології. В останньому підрозділі цього розділу, здійснено постановку задач дисертаційного дослідження.

У другому розділі запропоновано та обґрунтовано удосконалений метод метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих, містить обчислювальні процедури адаптивного налаштування вибору структурних елементів у спосіб встановлення для кожного елемента множини структурних елементів ймовірності вибору будь-

якого елемента і на основі зміни цього розподілу на різних фазах поведінкової моделі бджолиної колонії. Наведено обчислювальний алгоритм реалізації методу та результати обчислювальних експериментів для дослідження обчислювальної складності. На тестових прикладах підтверджено, удосконалений метод, у порівнянні із відомим, має нижчу обчислювальну складність реалізації структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Також показано, що із зростанням розмірності задачі структурної ідентифікації моделі, ефективність запропонованого методу зростає.

У третьому розділі наведено результати обґрунтування нової концепції ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яка передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу до опису предметної області досліджуваного об'єкта та до опису області побудови даного класу математичних моделей із використанням онтології. На підставі нової концепції розроблено гібридний метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, який на відміну від існуючих ґрунтується на поєднані методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолиної колоній та знання-орієнтованого підходу опису предметної області об'єктів на основі онтології.

У цьому розділі також наведено дослідження щодо розробки репозиторію низки інтервальних дискретних моделей для різних об'єктів, який вміщує онтологічний опис як предметної області застосування цих моделей, так і умови їх розробки. Основні результати у розділі проілюстровано застосуванням онтологічного підходу для формування та використання різноманіттям інструментів, графічних інтерфейсів для автоматичного генерування коду в комп'ютерне середовище. Наведено приклади підвищення ефективності запропонованого гібридного методу структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, у порівнянні з відомими методами. Варто зазначити, що цей розділ у дисертаційній роботі є основним для досягнення мети дисертаційного дослідження.

У четвертому розділі запропоновано підхід до верифікації інтервальних моделей на основі використання даних, які можна отримати через веб-ресурси. Метод ґрунтується на поєднанні методу фільтрування даних та застосуванні метрик оцінки актуальності інформації. Наведено також результати дослідження ефективності методу на конкретних прикладах.

Варто зазначити, що отримані у цьому розділі результати мають ширше застосування ніж для досягнення мети дисертаційного дослідження. Вони можуть також бути використані для оцінювання довіри до інформації, розміщеної на конкретних веб-ресурсах. Це підтверджено також рядом тематичних публікацій автора дисертації.

П'ятий розділ стосується нового комп'ютерного середовища, розробленого автором, яке є інструментом для побудови інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Розробка середовища побудована на використанні знання-орієнтованого підходу до опису процесів ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. В основі цього середовища новітня відкрита

архітектура програмного забезпечення. Застосування онтологічного підходу забезпечує адаптацію комп'ютерного середовища та інтерпретацію в програмний код сформульованих вимог користувача. Наведено елементи проектування середовища: діаграми використання, діаграми класів, реляційні моделі даних, описано програмні компоненти та користувацький інтерфейс.

У шостому розділі дисертації присвячено прикладним аспектам застосування розроблених теоретичних положень та комп'ютерного середовища для моделювання характеристик складних об'єктів. Зокрема, розглянуто задачі: моделювання забруднення атмосфери шкідливими викидами вихлопних газів автотранспорту; моделювання електрофізіологічних характеристик тканин хірургічної рани в задачах виявлення місцезнаходження зворотного гортанного нерва; моделювання динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж.

Висновки у повній мірі відображають отримані результати, мають достатній науковий рівень, відповідають вимогам щодо результатів результатів докторської дисертації.

У *додатках* наведено акти та довідки про впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Результати кандидатської дисертації в докторській дисертації не використовувались.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Практична значущість результатів дисертаційного дослідження полягає у розробці та впровадженні багатофункціонального програмного комплексу з відкритою архітектурою, орієнтованого на реалізацію алгоритмів функціонування нових методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей складних об'єктів на основі поєднання аналізу інтервальних даних, обчислювальних процедур оптимізації за аналогією поведінкових моделей бджолиної колонії та онтологічного підходу. Підтверджено використання програмного комплексу для розв'язування низки прикладних задач моделювання та прийняття рішень в галузях екології, медицини та при проектуванні веб-орієнтованих інформаційних систем.

Як засвідчують довідки та акти про впровадження результатів дисертаційної роботи, які наведено в додатках, основні результати дисертаційної роботи впроваджено:

1. у Державній установі «Тернопільський обласний центр контролю та профілактики хвороб Міністерства охорони здоров'я України» для підтримки прийняття рішень щодо забруднення атмосферного повітря у м. Тернопіль;
2. у КНП "Тернопільська комунальна міська лікарня №2" при проведенні операцій на щитовидній залозі;
3. у відділі «Центр надання адміністративних послуг» Тернопільської міської ради;
4. в департаменті цифрової трансформації Тернопільської обласної державної адміністрації при впроваджені сервісно-орієнтованих корпоративних систем;

5. у компанії «ELEKS» (м. Тернопіль) .

Також присутні документи, які підтверджують впровадження результатів дисертаційного дослідження у навчальний процес. А саме, розроблено комплексне методичне забезпечення, яке використано у навчальному процесі Західноукраїнського національного університету при викладанні дисциплін для студентів спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».

6. Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях.

Результати дисертаційної роботи опубліковано в цілому у 65 наукових працях. Зокрема: 24 – у фахових періодичних виданнях, 10 з яких входять до міжнародних наукометричних баз Scopus чи Web of Science; монографія у співавторстві; 40 публікацій у матеріалах конференцій, з яких 27 проіндексовано міжнародними наукометричними базами Scopus чи Web of Science. Результати роботи достатньо апробовані на міжнародних наукових конференціях закордоном та на наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету. Варто також відзначити, що дві статті із переліку фахових видань опубліковано у високорейтингових міжнародних журналах, що мають квартилі Q1 та Q2 відповідно до SCImago Journal & Country Rank, що засвідчує їх визнання міжнародною науковою спільнотою.

7. Зауваження та дискусійні питання

1. Розроблено метод структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі поведінкових моделей бджолиної колонії, який вимагає адаптивного налаштування процедур вибору структурних елементів із множини. Сказано, що на основі цього зменшується обчислювальна складність, але складність не розрахована аналітично.
2. Частина матеріалу розділу 3.1 доцільно було б винести в перший розділ, а рисунок 3.2 – навпаки розписати детальніше, оскільки з поданого на ньому опису онтології математичних моделей на основі інтервальних даних випливає подальша логіка розділу 3.
3. Для вибору моделі з репозиторію запропоновано метод оцінки вектора параметрів різницевого оператора, який, швидше за все, представляє частковий випадок, а не загальний.
4. Опис практичної реалізації онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних доцільно було б винести в розділ апробації результатів.
5. Результати методу оцінювання достовірності результатів доцільно було б порівняти з результатами існуючих методів, наприклад, з алгоритмом імпутації Mice.
6. DDL представлення з розділу 5 доцільно було б винести в додатки.
7. В роботі присутні жаргонізми, наприклад, на підписі до рис. 6.10.
8. Незрозуміло, чому використано монолітну архітектуру інформаційної системи.

Зазначені зауваження не впливають на загальне позитивне враження про роботу і є рекомендаційними.

Висновок про відповідність роботи встановленим вимогам МОН України

Дисертаційна робота Мельника Андрія Миколайовича на тему: «Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів» є завершеним науковим дослідженням, в якому вирішено актуальну наукову проблему, зниження обчислювальної складності методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на підставі поєднання методів аналізу інтервальних даних та методів онтологічного підходу, має вагоме теоретичне та практичне значення. Отримані теоретичні результати мають належне наукове обґрунтування та є новими. Дисертаційна робота за своїм змістом, пунктами наукової новизни, висновками та рекомендаціями відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Зважаючи на актуальність, новизну, практичну значущість отриманих результатів дисертаційного дослідження, обсяг та повноту висвітлення результатів в публікаціях наукових видань, можна зробити висновок, що дисертація відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 р., а її автор, Мельник Андрій Миколайович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи за галуззю «технічні науки».

Офіційний опонент:
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри систем
штучного інтелекту
Національного університету
«Львівська політехніка» Наталія ШАХОВСЬКА

Підпис проф. Наталії ШАХОВСЬКОЇ засвідчую.
Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка» Роман БРИЛИНСЬКИЙ