

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри системотехніки Харківського національного університету радіоелектроніки,

Гребенніка Ігоря Валерійовича

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

Проблеми математичного моделювання складних об'єктів великою мірою пов'язані із забезпеченням двох протирічних критеріїв при моделюванні, з одного боку - математична модель повинна бути простою, а з іншого - задовольняти вимоги до точності та адекватності, необхідних для відображення властивостей об'єкта. Особливо це стосується випадків, коли математичну модель використовують в складі систем, керованих моделями, даними чи знаннями, в умовах невизначеності. У дисертаційній роботі Мельника А.М. методи побудови математичних моделей ґрунтуються на індуктивному підході. Такий підхід передбачає експериментальне дослідження об'єкта з метою подальшого проведення структурної та параметричної ідентифікації моделі на підставі отриманих результатів спостережень. Для врахування похибок спостережень дисертант представляє їх у вигляді числових інтервалів, що гарантовано включають спостережувані значення характеристик об'єкта. Таким чином для ідентифікації математичних моделей у вигляді інтервальних різницевих рівнянь використано інтервальний підхід, зокрема, класичні методи аналізу інтервальних даних. Але, як відомо, такий підхід призводить до зростання обчислювальної складності процедур ідентифікації, хоча і забезпечує гарантовані прогностичні властивості самої моделі.

В основі вирішення зазначеної проблеми складності обчислень в роботі здійснено поєднання методів аналізу інтервальних даних та знання-орієнтованого підходу на основі онтологій. Вважаю, що тема та завдання дисертаційної роботи Мельника А.М. «Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів», є актуальними, оскільки робота пов'язана із розробленням методів та засобів побудови дискретних математичних моделей у вигляді інтервальних різницевих рівнянь на підставі поєднання онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних. Такий підхід до вирішення зазначеної проблеми, уможливив розробку більш ефективних, з точки зору 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 напрямку

«Інформаційні та комунікаційні технології», відповідно до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки». Дисертаційна робота стосується наукових досліджень, які виконувалися за держбюджетною 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, А.М.Мельник - відповідальний виконавець); "Розвиток систем підтримки рішень, керованих моделями та даними в умовах невизначеності." (2022 р., № держреєстрації 0121U114705, А.М.Мельник - 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. достатньо повно та на належному рівні обґрунтовано.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки і рекомендації ґрунтуються на теорії систем, теорії ідентифікації, методах математичного моделювання, інтервального аналізу, теорії ймовірностей, математичної статистики та на мета евристичних методах 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 аналіз. Усі зазначені методи для доведення новизни наукових результатів використані коректно. Наукові положення, висновки до всіх розділів дисертації, а також загальні висновки по роботі мають наукове обґрунтування. Представлені результати та рекомендації побудовані на теоретичному підґрунті, впливають з логічної послідовності проведених досліджень, експериментальних підтверджень пропонованих методів та підходів, а також завдяки зіставленням отриманих прикладних результатів з опублікованими в наукових працях інших авторів.

3. Наукова новизна результатів дослідження

У дисертаційній роботі сформульовано ряд наукових положень, які належним чином обґрунтовано. Наукові положення, сформульовані здобувачем, засвідчують особистий внесок здобувача у розвиток наукового напрямку - математичне моделювання та обчислювальні методи.

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 поєднанні методів інтервального аналізу, поведінкових моделей бджолоїної колонії 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 запропоновано 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 бджолоїної колонії, що у сукупності знижує обчислювальну складність реалізації методу.

7) Набули подальшого розвитку комп'ютерні середовища для інтервального моделювання та аналізу даних, в яких 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 мають належний теоретичний та практичний рівень, відзначаються цілісністю у вирішенні важливої проблеми зниження обчислювальної складності методів побудови інтервальних дискретних моделей складних об'єктів з одночасним забезпеченням гарантованої точності цих моделей в межах необхідних для розв'язування задач прийняття рішень.

4. Зміст дисертації та відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота складається з анотації, списку опублікованих дисертантом праць, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Зміст дисертації відповідає поставленим меті та завданням дослідження. Рукопис дисертації характеризується структурною логічністю, повним викладенням наукових та практичних результатів, а також завершеністю.

У *вступі* автором здійснено обґрунтування актуальності вибору теми дослідження, зазначено зв'язок з науковими програмами, та тематикою досліджень в Університеті. Сформульовано актуальність, мету, завдання та об'єкт і предмет дослідження. Подано формулювання наукової новизни одержаних результатів дослідження та їхнього практичного значення. Наведено особистий внесок здобувача, а також інформацію про апробації результатів досліджень. Також подано опис структури та обсягу дисертації.

У *першому розділі* здійснено аналіз методів та засобів побудови моделей характеристик складних об'єктів в умовах невизначеності. Окреслено їх роль щодо побудови систем, орієнтованих на знання та моделі. Проведено порівняльний аналіз недоліків та переваг методів дедуктивного та індуктивного підходів при побудові математичних моделей і обґрунтовано використання індуктивного підходу та методів аналізу інтервальних даних. Розглянуто постановки задач структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей у вигляді різницевих рівнянь. На підставі аналізу зазначених методів для зниження обчислювальної складності їх реалізації обґрунтовано використання знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваних об'єктів, так і області побудови математичних моделей цих об'єктів. В заключній частині розділу здійснено постановку задач дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* наведено удосконалений метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів на основі його доповнення обчислювальними процедурами адаптивного налаштування вибору структурних елементів у спосіб обчислення для кожного елемента ймовірності його вибору на різних фазах поведінкової моделі бджолоїної колонії. Розроблено алгоритм реалізації методу, проведено обчислювальні експерименти для дослідження його обчислювальної складності. На тестових прикладах підтверджено підвищення ефективності вдосконаленого методу. При цьому показано, що із зростанням

складності задачі параметричної ідентифікації моделі, ефективність запропонованого методу зростає.

Третій розділ присвячений обґрунтуванню нової концепції щодо розвитку методів ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, - як підґрунтя для зниження обчислювальної складності реалізації цих методів. В новій концепції поєднано методи аналізу інтервальних даних, знання-орієнтованого підходу із використанням онтології. Результати обґрунтування автором нової концепції слугують основою для розробки гібридного методу структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. У цьому розділі також наведено дослідження щодо онтологічного опису та використання репозиторію ряду інтервальних дискретних моделей у вигляді різницевих рівнянь, який вміщує онтологічний опис як предметної області застосування цих моделей, так і умови їх розробки. У розділі наведено приклади використання онтологічного підходу для формування та використання різного набору інструментів, графічних інтерфейсів для автоматичного генерування коду в комп'ютерне середовище для інтервального моделювання та аналізу даних.

У *четвертому розділі* запропоновано метод верифікації моделей на основі інформації, розміщеній в глобальній мережі, яка стосується модельованого об'єкта. Метод ґрунтується на поєднанні методу фільтрування даних та застосуванні метрик оцінки актуальності інформації, що у сукупності забезпечує достовірність результатів верифікації моделі, її повноту та знижує обчислювальну складність її ідентифікації. Наведено результати дослідження ефективності методу на конкретних прикладах.

П'ятий розділ стосується результатів розробки на підставі запропонованих методів нового комп'ютерного середовища – як інструменту для побудови інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Середовище ґрунтується на знання-орієнтованому підході опису процесів побудови інтервальних дискретних моделей складних об'єктів із застосуванням онтології, що забезпечує адаптацію цього середовища та інтерпретацію в програмний код для визначеної предметної області та під конкретні вимоги користувача. Наведено елементи рішень комп'ютерного середовища у вигляді відкритої архітектури програмного забезпечення, діаграм класів та реляційних моделей баз даних. Описано програмну реалізацію з елементами користувацького інтерфейсу.

У *шостому розділі* дисертації наведено приклади застосування розроблених методів, репозиторію інтервальних моделей та комп'ютерного середовища для моделювання характеристик складних об'єктів. Зокрема, розглянуто задачі для моделювання забруднення атмосфери шкідливими викидами у вихлопних газах автотранспорту, моделювання електрофізіологічних характеристик тканин хірургічної рани в задачах виявлення місцезнаходження зворотного гортанного нерва під час операцій на щитоподібній залозі, а також для моделювання динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж.

Висновки, сформульовані у роботі, повною мірою відображають отримані результати, мають належний науковий рівень та відповідають вимогам, які висуваються до результатів докторської дисертації.

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

Результати кандидатської дисертації в докторській дисертації не використовувались.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи мають практичне значення. На підставі отриманих наукових результатів розроблено багатofункціональний програмний комплекс з відкритою архітектурою та орієнтований на веб-користувача. Програмний комплекс побудовано на основі алгоритмів реалізації 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. Програмний комплекс використано при розв'язуванні низки прикладних задач моделювання прийняття рішень в сферах екології, медицини та при розробці веб-орієнтованих інформаційних систем.

Результати дисертаційної роботи впроваджено: 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; у КНП «Тернопільська комунальна міська лікарня №2» при проведенні операцій на щитовидній залозі, у відділі «Центр надання адміністративних послуг» Тернопільської міської ради; в департаменті цифрової трансформації Тернопільської обласної державної адміністрації при впровадженні сервісно-орієнтованих корпоративних систем; у компанії «Eleks» (м. Тернопіль). На підставі проведених у дисертаційній роботі досліджень розроблено комплексне методичне забезпечення, яке використовують у навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету при викладанні дисциплін для студентів спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення». Усі отримані результати та їх впровадження підтверджено актами використання результатів дисертаційного дослідження та наведено в додатках.

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

Результати дисертаційної роботи повністю опубліковано у 65 наукових працях, з них 24 – у фахових періодичних виданнях, 10 з яких входять до міжнародних наукометричних баз Scopus чи Web of Science, одна монографія у співавторстві та 40 публікацій у матеріалах конференцій, 27 з яких проіндексовано міжнародними наукометричними базами Scopus та Web of Science. Дві статті із переліку, опубліковано у високореєтингових міжнародних журналах, що входять до Q1 та Q2 SCImago Journal & Country Rank, що засвідчує

їх визнання міжнародною науковою спільнотою. Результати роботи достатньо апробовані на міжнародних наукових конференціях за кордоном та на наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Результати аналізу публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи підтверджують повне викладення основних наукових положень, дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності у процесі підготовки докторської дисертації.

7. Зауваження та дискусійні питання

Не зважаючи на загальну позитивну оцінку роботи, вважаю за необхідне звернути увагу на ряд дискусійних питань:

1. Метою дисертаційної роботи є зниження обчислювальної складності методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Разом з тим, автор дисертації наголошує на тому, що зазначенні методи є NP – складними і пропонує застосувати мета евристичні алгоритми оптимізації. Доцільно було б більшою мірою проаналізувати та представити в роботі результати порівняння відомих мета евристичних алгоритмів для розв'язування задач ідентифікації інтервальних моделей.

2. Для ілюстрації ефективності запропонованих в роботі методів слід було б навести порівняльні результати щодо часової складності реалізації різних методів на однотипних обчислювальних засобах, на додачу до кількості обчислень значення функції мети.

3. З тексту дисертації складно зрозуміти, як верифікація математичної моделі впливає на зниження обчислювальної складності ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Доцільно було б продемонструвати та пояснити цей вплив.

4. Концепція ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, запропонована в роботі, передбачає поєднання методів аналізу інтервальних даних та знання-орієнтованого підходу із використанням онтологічного підходу як способу представлення знань. Вважаю, що використання онтологічного підходу в зазначеній концепції є недостатньо обґрунтованим і вимагає детальніших пояснень.

5. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні неточності при формулюванні деяких висловлювань та описів, а також граматичні помилки.

Вказані зауваження не впливають істотно на загальну позитивну оцінку дисертації та не знижують її наукову та практичну цінність.

Висновок про відповідність роботи встановленим вимогам МОН України

Дисертаційна робота Мельника Андрія Миколайовича за темою: «Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів» є завершеним науковим дослідженням, яке вирішує актуальну науково-прикладну проблему, має достатнє теоретичне та практичне значення.

Отримані теоретичні результати мають належне наукове обґрунтування, є новими та раніше не захищалися. Дисертаційна робота за своїм змістом, темою, об'єктом та предметом дослідження, висновками, рекомендаціями відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Зважаючи на актуальність дисертаційного дослідження, новизну отриманих теоретичних положень, практичну значущість результатів, обсяг та повноту висвітлення результатів дослідження в публікаціях наукових видань, можна зробити висновок, що дисертація відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора 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 (технічні науки).

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри системотехніки
Харківського національного
університету радіоелектроніки



Ігор ГРЕБЕННИК

Підпис І.В. Гребенніка засвідчую.

Проректор з інноваційно-корпоративної роботи
та адміністрування ХНУРЕ, д.ю.н., проф.



Василь РОССІХІН