

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора,
професора кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Вінницького національного технічного університету,

Кветного Романа Наумовича

про 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

05 «Технічні науки»

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

Розробка інтелектуалізованих систем підтримки прийняття рішень є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку науки та техніки. Особливо це стосується систем керованих моделями, даними та знаннями, в умовах невизначеності. Розвиток таких систем безпосередньо пов'язаний із розвитком методів математичного моделювання, як процесу побудови математичних моделей із застосуванням методів їх ідентифікації, так і застосування побудованих моделей. У дисертаційній роботі Мельника А.М. до побудови таких моделей застосовано індуктивний підхід, який ґрунтується на експериментальному дослідженні властивостей складного об'єкту із подальшою структурною та параметричною ідентифікацією математичної моделі цього об'єкта.

Автор дисертації спирається на припущення, що точність математичної моделі співмірна із точністю результатів експерименту, які представлено у вигляді числових

інтервалів, що гарантовано включають спостережувані значення характеристик об'єкта, і відповідно використовує для ідентифікації цих моделей методи аналізу інтервальних даних, а самі моделі подає у вигляді інтервальних різницевих рівнянь. Проте, такий підхід призводить до зростання обчислювальної складності процедур ідентифікації.

Автор дисертаційної роботи вирішує зазначену проблему складності обчислень в оригінальний спосіб, а саме на основі поєднання методів аналізу інтервальних даних та знання-орієнтованого підходу на основі онтологій, як до опису предметної області досліджуваного об'єкта, так і області побудови даного класу математичних моделей. Тому, тема та завдання дисертаційної роботи Мельника А.М. «Знання-орієнтовані програмні системи для інтервального аналізу та моделювання складних об'єктів», є актуальною, оскільки вона пов'язана із розробленням методів та засобів побудови дискретних моделей складних об'єктів у вигляді інтервальних різницевих рівнянь з гарантованими прогностичними властивостями на підставі поєднання онтологічного підходу та аналізу інтервальних даних, що у сукупності створило можливість розробки нових, більш ефективних з точки зору зниження обчислювальної складності, методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей об'єктів. Досягнення мети дисертаційного дослідження створює умови для розвитку теорії ідентифікації та математичного моделювання в цілому, а також є підставою для розвитку прикладних досліджень у сферах, де математичні моделі є основою для прийняття рішень.

Актуальність теми дослідження підтверджується тим, що напрям досліджень дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напрямку, відповідно до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»: «Інформаційні та комунікаційні технології». Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з планами 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, відповідальний виконавець); "Розвиток систем підтримки рішень, керованих моделями та даними в умовах невизначеності." (2022 р., № держреєстрації 0121U114705, відповідальний виконавець); "Математичне та програмне забезпечення для класифікації тканин хірургічної рани в процесі операції на органах ший" (2017-2018 рр., № держреєстрації 0117U000410), а також ряду науководослідних 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 обґрунтовані, підтверджуються використанням широкої та сучасної інформаційної бази наукових публікації, нормативних документів, звітів, рекомендації вітчизняних та закордонних вчених за напрямком дослідження.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки і рекомендації були розроблені на теоретико-методологічній базі, в основі якої лежать методи теорії систем, теорії ідентифікації, математичного моделювання, інтервальної математики, теорії ймовірностей, математичної статистики та оптимізації. Для побудови онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних використано системний аналіз, методи реляційної алгебри, а для реалізації комп'ютерного середовища та генерування інструментальних засобів для моделювання використано системний підхід та об'єктно-орієнтований аналіз. В сукупності, отримані наукові результати дали змогу розробити багатофункціональний програмний комплекс, в якому реалізовано новітні методи побудови інтервальних моделей складних об'єктів, а саме методи їх структурної та параметричної ідентифікації на основі поєднання аналізу інтервальних даних, обчислювальних процедур оптимізації за аналогією поведінкових моделей бджолиної колонії та онтологічного підходу.

Наукові положення, висновки сформульовані до усіх розділів дисертації, а також загальні висновки по роботі мають наукове обґрунтування. Представлені результати, рекомендації базуються на теоретичному підґрунті та впливають з логічної послідовності проведених досліджень, експериментальних підтверджень пропонованих методів та підходів.

3. Наукова новизна результатів дослідження

У дисертаційній роботі сформульовано ряд наукових положень, висновків і рекомендацій, які мають належне обґрунтування, характеризуються науковою новизною та мають практичну цінність. Наукові положення сформульовані здобувачем особисто та свідчать про особистий внесок здобувача у розвиток наукового напрямку – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

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 бджолиної 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, 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.

Даючи оцінку обґрунтуванню наукових положень, висновків і рекомендацій загалом, можна відзначити їхній належний теоретичний та практичний рівень у вирішенні важливої проблеми зниження обчислювальної складності процесів побудови інтервальних 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, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Зміст дисертації відповідає поставленим меті та завданням дослідження, характеризується повнотою викладення, структурною логічністю та завершеністю.

У *вступі* автором здійснено обґрунтування актуальності вибору теми дослідження, зазначено зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Сформульовано мету та завдання дослідження, визначено ряд завдань, які необхідно реалізувати для досягнення поставленої мети. Дається опис наукової новизни одержаних результатів дослідження та їхнього практичного значення. Наведено особистий внесок здобувача, а також інформацію про апробації результатів досліджень та публікацій за темою дисертації. Також дається опис структури та обсягу дисертації.

У *першому розділі* окреслено ряд завдань щодо побудови систем, орієнтованих на знання та моделі. Здійснено аналіз методів та засобів побудови моделей характеристик складних об'єктів в умовах невизначеності. При цьому. проведено

порівняльний аналіз недоліків та переваг методів дедуктивного та індуктивного підходів. Виділено випадки в яких для побудови моделей характеристик складних об'єктів обґрунтовано використання індуктивного підходу та методів аналізу інтервальних даних. Розглянуто постановки задач структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів у вигляді різницевих рівнянь. Проведено аналіз цих методів та обґрунтовано для зниження обчислювальної складності їх реалізації використання знання-орієнтованого підходу як до опису предметної області досліджуваного об'єкта так і області побудови даного класу математичних моделей. В заключній частині розділу. Здійснено постановку задач дисертаційного дослідження.

У другому розділі розглянуто метод структурної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів та вдосконаленого його на основі введення обчислювальних процедур на різних фазах поведінкової моделі бджолоїної колонії адаптивного налаштування вибору структурних елементів у спосіб обчислення для кожного елемента ймовірності його вибору при синтезі поточної моделі. Описано алгоритм реалізації методу. Проведено обчислювальні експерименти для дослідження обчислювальної складності. На тестових прикладах підтверджено підвищення ефективності вдосконаленого методу.

Третій розділ є ключовим у дисертаційній роботі. У цьому розділі запропоновано та обґрунтовано нову концепцію 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. Також у цьому розділі на підставі новоствореної концепції наведено результати розробки нового гібридного методу структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів. Наведено дослідження щодо створення та використання репозиторію ряду інтервальних дискретних моделей в сфері екології, який вміщує онтологічний опис як предметної області застосування цих моделей, так і умови їх розробки. Цей розділ

проілюстровано рядом прикладів з можливістю підключення різного набору інструментів та графічних інтерфейсів для автоматичного генерування коду в комп'ютерне середовище для інтервального моделювання та аналізу даних. В завершальній частині розділу наведено дослідження ефективності впровадження запропонованих нових наукових результатів.

У четвертому розділі запропоновано метрики оцінки актуальності інформації на різних веб ресурсах. На цій основі розроблено метод верифікації моделей, який ґрунтується на поєднанні методу фільтрування даних та застосуванні метрик оцінки актуальності інформації, що у сукупності забезпечує повноту моделі та знижує обчислювальну складність на її ідентифікацію. Досліджено ефективність методу.

П'ятий розділ присвячено результатам розробки нового комп'ютерного середовища для математичного моделювання на основі інтервальних дискретних моделей складних об'єктів, яке 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. Наведено елементи рішень цього середовища, наприклад реалізована відкрита архітектура програмного забезпечення, діаграми класів та реляційні моделі баз даних. Також описано програмну реалізацію комп'ютерного середовища з елементами користувацького інтерфейсу.

Шостий розділ роботи присвячено застосуванню розроблених методів, репозиторію інтервальних моделей та комп'ютерного середовища для моделювання характеристик складних об'єктів для різних прикладних задач. Зокрема: 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; моделювання динаміки реакцій користувачів на повідомлення в тематичних групах соціальних мереж. Досліджено

ефективність застосування розроблених методів для розв'язування низки прикладних задач.

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

Дисертаційна робота має завершену структурну форму представлення, повною мірою розкриває мету та завдання дослідження.

Результати кандидатської дисертації в докторській дисертації не використовувались.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи, які мають практичне значення, оскільки на їх основі створено багатофункціональний програмний комплекс, який реалізує методи побудови інтервальних моделей складних об'єктів, а саме методи їх структурної та параметричної ідентифікації на основі аналізу інтервальних даних, реалізовані на основі поведінкових моделей бджолоїної колонії та онтологічному підході. Програмний комплекс практично використано при розв'язуванні низки задач моделювання прийняття рішень для об'єктів різної природи у 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 для побудови оптимального розкладу публікацій спеціалізованої групи для максимізації кількості реакцій на повідомлення на заданому інтервалі часу; в департаменті цифрової трансформації Тернопільської обласної державної адміністрації при впровадженні

сервісно-орієнтованих корпоративних систем; у компанії «ELEKS» (м. Тернопіль) для оцінювання інформаційних дописів користувачів соціальної спільноти на основі використання методу фільтрування даних, побудованого з використанням метрики оцінки актуальності інформації. 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 спеціальностей 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.

Основні результати дисертаційної роботи 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 чи Web of Science. Варто зазначити, що дві статті із переліку опубліковано у журналах, що входять до Q1 та Q2 SCImago Journal & Country Rank. Результати роботи доповідались в основному на високо-рейтингових міжнародних наукових конференціях закордоном та на наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету.

Результати аналізу публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи вказують на повноту викладу основних наукових положень та дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності у процесі підготовки докторської дисертації. Загальна кількість публікації та їх зміст в достатній мірі висвітлюють результати дисертаційної роботи.

7. Зауваження та дискусійні питання

Не заперечуючи важливість наукових положень та висновків, необхідно зазначити ряд зауважень та дискусійних питань:

1. В основі розроблених та удосконалених методів ідентифікації дискретних моделей автором є обчислювальні процедури оптимізації, які ґрунтуються на аналогіях поведінки колонії медоносних бджіл при пошуку нектару. Проте, не знайшов у роботі порівняння із іншими інтелектуальними методами ройової оптимізації чи оптимізації на основі імітації поведінки живих істот, що живуть зграями, наприклад, поведінки зграї сірих вовків в процесі полювання на здобич. Зараз таких досліджень багато.

2. Зниження обчислювальної складності методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних дискретних моделей складних об'єктів є основним завданням дисертаційного дослідження. Проте вибір за критерій досягнення ефективності розроблених методів показника кількості обчислень значення функції мети, обґрунтовано не в повній мірі. Можливо доречно було б використати комплексні критерії.

3. Доцільно було б порівняти прогностичні властивості інтервальних моделей у вигляді різницевих рівнянь, побудованих на основі розроблених методів, з класичними моделями масоперенесення та дифузії, які теж можуть бути описані різницевими рівняннями, тільки іншого класу та змісту.

4. У дисертації не зовсім чітко показана роль четвертого розділу в досягненні мети дисертаційного дослідження. Він також містить частину результатів, які, на наш погляд, дещо виходять за межі мети дисертаційного дослідження.

5. Якщо мова йде про оцінку достовірності (четвертий розділ дисертації цьому присвячено), то треба було б чітко показати зв'язок запропонованих автором показників з достовірністю, як імовірністю отримання правильного рішення в класичному розумінні цього поняття.

6. В роботі не завадило б навести більше чисельних даних, що підтверджують переваги запропонованої методології в порівнянні з конкурентними існуючими підходами. Навіть для розглянутих застосувань та впровадження.

7. П'ятий розділ дещо перевантажено деталізацією елементів розробки комп'ютерного середовища для інтервального моделювання характеристик складних об'єктів. Це свідчить про високий професіоналізм дисертанта, як розробника програмних систем у різних середовищах, але є суто технічною інформацією.

8. Поняття гарантованої точності, що задекларовано у постановці задачі, на наш погляд, потребує більш детального розглядання принаймні у висновках та практичному розділі роботи.

9. Здається, що як вагомий практичний результат було доречно сформулювати загальну формалізовану методику використання результатів роботи (зокрема того розробленого автором багатofункціонального програмного комплексу) для широкого кола спеціалістів, що моделюють математично подібні задачі для об'єктів різної природи.

10. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні неточності при формулюванні деяких тверджень, а також граматичні помилки. Наприклад, на ст. 82 наведено формулу, де втрачена дужка. Але таких похибок порівняно небагато.

Вказані зауваження та дискусійні положення істотно не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації та суттєво 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 виконано самостійно, вирішує актуальну науково-прикладну проблему, має вагоме 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 теоретичних положень, практичну цінність результатів, рівень 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:

член-кореспондент

Національної академії педагогічних наук України,

доктор технічних наук, професор,

професор кафедри автоматизації та

інтелектуальних інформаційних технологій

Вінницького національного

технічного університету,

Заслужений діяч науки і техніки України



Роман КВЕТНИЙ

Підпис *Р. Кветний*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією