

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора,
професора кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних
технологій

Вінницького національного технічного університету,

Кветного Романа Наумовича

про дисертаційну роботу Манжули Володимира Івановича
«Методи та програмні засоби ідентифікації інтервальних моделей
статичних систем з нелінійними характеристиками»,
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

Моделювання великого класу об'єктів в умовах невизначеності приводить до нелінійних задач. Інтервальне моделювання є дуже потужним підходом до ідентифікації таких об'єктів. Особливо значущими є такі задачі для певних науково-практичних застосувань. Моделювання екзогенних впливів на складні об'єкти, які можуть розглядатися як статичні системи з нелінійними характеристиками, є суттєвою проблемою в різних галузях науки і техніки. Сучасні методи моделювання все більше орієнтуються на точність та адекватність відтворення поведінки системи за різних умов, що потребує урахування широкого спектру зовнішніх факторів та їх впливу на характеристики системи. Одним із ключових інструментів у моделюванні складних систем є моделі «чорної скриньки», які застосовуються у випадку, коли пряме аналітичне вираження зв'язків між вхідними та вихідними змінними є неможливим або надто складним. У дисертаційній роботі Манжули В.І. для моделювання та

аналізу статичних систем з нелінійними характеристиками такі моделі розглядаються у вигляді нелінійних функціональних залежностей, що забезпечують інтерпретованість та аналіз впливу екзогенних факторів на вихідні характеристики системи.

Автор дисертації в своїй роботі спирається на інтервальний підхід для врахування невизначеності при моделюванні, який враховує граничні значення похибок в результатах експерименту. Цей підхід уможливорює побудову інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками із гарантованою точністю, яка визначається точністю результатів експерименту. Проте, такий підхід призводить до зростання обчислювальної складності процедур ідентифікації.

Автор дисертаційної роботи вирішує проблему зменшення складності обчислень в оригінальний спосіб, а саме шляхом розробки та реалізації комплексного підходу на основі поєднання онтологічного опису предметної області ідентифікації цих моделей, методів аналізу інтервальних даних та гібридних методів глобальної і локальної оптимізації. Тема та завдання дисертаційної роботи Манжули В.І. «Методи та програмні засоби ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками», є актуальною, оскільки вона пов'язана із розробленням методів та програмних засобів ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками з гарантованою точністю на підставі поєднання знання-орієнтованого підходу, аналізу інтервальних даних і методів глобальної та локальної оптимізації, що у сукупності створило можливість розробки нових, більш ефективних з точки зору зниження обчислювальної складності, методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками. Досягнення мети дисертаційного дослідження створює умови для розвитку теорії ідентифікації та математичного

моделювання в цілому, а також прикладних досліджень у різних сферах, що добре продемонстровано у роботі.

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» (2023-2024 рр., держреєстраційний номер 01220001497), «Національна концепція екобезпеки суспільства та інклюзія циркулярної економіки в умовах пандемії» (2021-2022 рр., держреєстраційний номер 01210109485), «Математичне та програмне забезпечення для ідентифікації та моніторингу особливо небезпечних джерел забруднення ґрунту та ґрунтових вод» (2020-2021 рр., держреєстраційний номер 0120U102040), «Математичне та програмне забезпечення для класифікації тканин хірургічної рани в процесі операції на органах шиї» (2017-2018 рр., держреєстраційний номер 0117U000410), «Теорія побудови та методи реалізації в реальному часі міждисциплінарних математичних моделей зміни стану складних об'єктів» (2014-2015 рр., держреєстраційний номер 0114U000569), «Інформаційна технологія для ідентифікації і візуалізації поворотного гортанного нерву в процесі хірургічної операції на щитовидній залозі» (2012-2013 рр., держреєстраційний номер 0112U000078), а також ряду науково-дослідних робіт за госпдогвірною тематикою.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Манжули В.І. 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, реляційної алгебри. Для побудови онтології математичного моделювання на основі інтервальних даних використано системний аналіз, методи реляційної алгебри, а для розробки комп'ютерного середовища використовуються методи системного аналізу, об'єктно-орієнтованого аналізу, проектування та програмування, а також методи функціонального та комплексного тестування систем. В цілому, отримані наукові результати дали змогу розробити програмні засоби для математичного моделювання статичних систем з нелінійними характеристиками на основі аналізу інтервальних даних. Теоретичним підґрунтям для реалізації програмних засобів є науковий комплексний підхід до ідентифікації таких моделей, що базується на поєднанні онтологічного опису предметної області ідентифікації цих моделей, методів аналізу інтервальних даних та гібридних методів глобальної і локальної оптимізації.

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 обґрунтованих наукових положень, висновків і рекомендацій, які мають наукову новизну та мають практичну цінність. Наукові положення сформульовані здобувачем особисто та свідчать про певний особистий вагомий внесок здобувача у розвиток наукового напрямку – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Наукова новизна роботи полягає в наступному(наукові результати розділено на дві групи – загальнонаукові та наукові результати у прикладних областях).

Загальнонаукові результати у галузі інтервального моделювання:

1) Запропоновано та обґрунтовано комплексний підхід до ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який ґрунтується на поєднанні онтологічного опису предметної області ідентифікації цих моделей, методів аналізу інтервальних даних та гібридних методів глобальної і локальної оптимізації, що у сукупності забезпечило зниження часової складності розв'язування задач ідентифікації цих моделей;

2) Розроблено метод параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на розв'язуванні оптимізаційної задачі з нелінійною цільовою функцією, яка мінімізує квадратичне відхилення між обчисленими значеннями модельованої характеристики статичної системи та значеннями, вибраними на числових інтервалах результатів експерименту, що уможливило гарантовану квадратичну збіжність на основі застосування квазіньютонівських (Quasi-Newton Methods) методів оптимізації. На тестових прикладах продемонстровано зменшення кількості ітерацій у 4.5 рази, що є співрозмірним такому ж зменшенню

кількості обчислень цільової функції. При цьому отримані нелінійні моделі статичних систем відображають властивості статичної системи із заданою точністю.

3) Розроблено метод структурної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелійними характеристиками, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на аналізі градієнта цільової функції та часткової похідної по параметру моделі для редукованого чи доданого структурного елемента, що уможливило напрямлений вибір структурних елементів і зниження кількості ітерацій обчислюваних процедур.

4) Розроблено уніфікований метод ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелійними характеристиками, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на знання-орієнтованому підході вибору методів параметричної та структурної ідентифікації в залежності від характеристик задачі, що забезпечило зниження часової складності реалізації методу ідентифікації;

5) Удосконалено систему критеріїв обчислювальної процедури оптимізації в задачах параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелійними характеристиками, яка, на відміну від існуючих, використовує додатковий критерій зупинки на поточній ітерації оптимізаційної процедури на основі перевірки адекватності інтервальної моделі, що забезпечило зниження обчислювальної складності оптимізації.

Наукові результати у прикладних областях застосування:

1) Набули подальшого розвитку інтервальні моделі генерованої електроенергії малою гідроелектростанцією в залежності від характеристик її гідротехнічних споруд, які, на відміну від існуючих, отримані у вигляді нелінійного алгебраїчного рівняння, що уможливило забезпечення ефективного функціонування МГЕС на основі використання наявних гідроресурсів.

2) Розроблено інтервальні моделі залежності рН середовища у ферментаторі біогазової установки від складу завантаженої у біореактор сировини та технологічних параметрів процесу виробництва біогазу на основі багатокomпонентного субстрату, що уможливило визначення допустимих варіацій значень рН середовища в залежності від співвідношення сухої та рідкої фракції сировини для забезпечення стабільності процесу бродіння у ферментаторі.

Даючи оцінку обґрунтуванню наукових положень, висновків і рекомендацій загалом, можна відзначити їхній належний теоретичний та практичний рівень у вирішенні важливої проблеми зниження обчислювальної складності процедур реалізації методів ідентифікації математичних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками в умовах інтервальної невизначеності.

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. Подається 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 надано опис структури та обсягу дисертації.

У першому розділі проаналізовано задачі ідентифікації математичних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками на основі аналізу інтервальних даних. Сформульовано задачі параметричної та структурної ідентифікації інтервальних моделей, розв'язування яких ґрунтується на пошуку розв'язків інтервальної

системи нелінійних алгебраїчних рівнянь. Встановлено, що у випадку знаходження розв'язку цієї системи отримують оптимізаційну задачу з нелінійною, дискретною цільовою функцією, що приводить до підвищення обчислювальної складності методів їх розв'язування. Проведено аналіз методів глобальної оптимізації для розв'язування задач структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками. Обґрунтовано використання онтологічних описів для формалізації теоретичних засад ідентифікації інтервальних моделей та досвіду застосування методів оптимізації. На основі здійсненого аналізу сформульовано перелік основних завдань для подальших досліджень, які у випадку ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками можуть базуватися на використанні гібридних методів, що поєднують стратегії глобального пошуку та ефективні методи локальної оптимізації.

У *другому розділі* розглянуто метод параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який ґрунтується на розв'язуванні оптимізаційної задачі з диференційованою цільовою функцією та гібридній стратегії глобального пошуку із використанням квазіньютонівських методів. Описано алгоритм реалізації методу. Проведено обчислювальні експерименти для дослідження обчислювальної складності. Удосконалено систему критеріїв зупинки процедури оптимізації за рахунок використання додаткового критерію зупинки на поточній ітерації оптимізаційної процедури на основі перевірки адекватності моделі. На тестових прикладах підтверджено підвищення ефективності методу із використанням вдосконаленої системи критеріїв.

У *третьому розділі* обґрунтовано та розроблено метод структурної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який ґрунтується на правилах нарощування, редукції та селекції структурних елементів інтервальних моделей-претендентів, що

в свою чергу базуються на аналізі градієнта цільової функції відносно параметрів моделей та часткової похідної по параметру моделі для редукованого чи доданого структурного елемента, що забезпечило напрямлений вибір структурних елементів і відповідно зниження кількості ітерацій обчислюваних процедур структурної ідентифікації. На тестових прикладах підтверджено збіжність запропонованого методу. Розроблено алгоритм структурної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який апробовано на прикладі побудови інтервальної моделі генерованої електроенергії малою гідроелектростанцією в залежності від характеристик її гідротехнічних споруд.

Четвертий розділ є ключовим у дисертаційній роботі. В даному розділі запропоновано та реалізовано новий комплексний підхід до ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який ґрунтується на поєднанні знань у вигляді онтологічного опису предметної області ідентифікації цих моделей, методів аналізу інтервальних даних та гібридних методів, які поєднують стратегії глобальної та локальної оптимізації. В частині онтологічного опису знань вирішено завдання структурування знань про характеристики задач ідентифікації моделей статичних систем; методи оптимізації; критерії вибору методу залежно від характеристик задачі. В межах підходу реалізовано метод моделювання, який ґрунтується на знання-орієнтованому підході до вибору методів оптимізації, зокрема глобального пошуку на основі градієнтних методів та методів ройового інтелекту (рою частинок, поведінкових моделей бджолиної колонії), що у сукупності забезпечило зниження часової складності ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками. В завершальній частині розділу наведено дослідження ефективності впровадження запропонованих нових наукових результатів.

П'ятий розділ присвячено питанням проектування та реалізації програмних засобів для математичного моделювання статичних систем з нелінійними характеристиками на основі аналізу інтервальних даних. Запропоновано та обґрунтовано архітектуру програмного забезпечення. На базі запропонованої архітектури реалізовано програмну систему для математичного моделювання на основі аналізу інтервальних даних з використанням хмарних технологій.

Шостий розділ роботи присвячено застосуванню розроблених методів для задач моделювання процесів в біогазових установках, декарбонізація об'єктів промисловості та транспортної інфраструктури. Зокрема: розроблено інтервальні моделі, які описують залежність рН середовища від складу завантаженої у біореактор сировини та технологічних параметрів процесу виробництва біогазу з багатокомпонентного субстрату; отримано моделі поширення промислового забруднення від точкового джерела для побудови розподілу концентрацій фонового рівня забруднення навколо промислового об'єкта; отримано інтервальну модель залежності обсягів відновлення транспортної інфраструктури від використання низьковуглецевих матеріальних ресурсів. 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 до результатів докторської дисертації.

Дисертаційна робота має завершену обґрунтовану структуру та форму представлення, що повною мірою розкриває досягнуту мету та виконані завдання дослідження.

Результати кандидатської дисертації в докторській дисертації не використовувались.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертаційної роботи, мають суттєве практичне значення. Реалізовані на їх основі програмні засоби практично використано при розв'язуванні низки задач моделювання в сферах екології, медицини та енергетики.

При цьому запропоновано та обґрунтовано архітектуру програмного забезпечення та комп'ютерне середовище для математичного моделювання статичних систем з нелінійними характеристиками на основі аналізу інтервальних даних. Ця архітектура імплементує підсистему інтервального моделювання в сервісно-орієнтоване середовище із використанням платформи Google Cloud Run, моделі розподілених обчислень MapReduce, інтелектуалізованої консультативно-діагностичної підсистеми та програмно-інтерпретованих засобів на всіх етапах математичного моделювання, що у сукупності забезпечило спрощення процесу моделювання та використання розроблених сервісів. Це може розглядатися як завершена технологія та методика для математичного моделювання статичних систем з нелінійними характеристиками на основі аналізу інтервальних даних, що є надто вагомим практичним результатом.

Результати дисертаційної роботи впроваджено: у ТОВ «Геофіпольська енергетична компанія» при виробництві біогазу для забезпечення стабільності бродіння в біореакторах першого етапу; у Тернопільській міській комунальній лікарні №2 при інтраопераційній ідентифікації нервів гортані при проведенні операцій тиреоїдектомії; у комунальному підприємстві теплових мереж «Тернопільміськтеплокомуненерго» Тернопільської міської ради для підтримки рішень щодо декарбонізації об'єктів виробництва котелень, які працюють на газоподібному паливі; у ТзОВ «Топольки» для оцінювання потенційних можливостей використання наявних гідроресурсів малою гідроелектростанцією. Це демонструє широку область застосувань

результатів роботи та відкриває можливості для її розширення для різноманітних задач в різних науково-прикладних галузях. На підставі проведених у дисертаційній роботі досліджень розроблено навчально-методичні матеріали, які використовуються у навчальному процесі кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету при викладанні низки дисциплін для студентів спеціальностей 121 «Інженерія програмного забезпечення». Це може бути значно поширено на різні дисципліни, пов'язані з математичним моделюванням та ідентифікацією об'єктів для студентів 12 галузі спеціальностей та суміжних. Усі отримані результати та їх впровадження підтверджено актами використання результатів дисертаційного дослідження на наведено в додатках.

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

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 61 науковій праці, з них 20 – у фахових періодичних виданнях, 6 з яких входять до міжнародних наукометричних баз Scopus чи Web of Science, одна монографія у співавторстві та 40 публікацій у матеріалах конференцій, 23 з яких проіндексовано міжнародними наукометричними базами Scopus чи Web of Science. Варто зазначити, що 4 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

Разом з тим при рецензуванні роботи виникає низка зауважень та питань, які можуть бути предметом дискусії:

1. Мету можна було описати не тільки як зниження обчислювальної складності, а й як спрощення всього процесу проектування, ідентифікації та оптимізації задач, що пов'язані з моделюванням нелінійних об'єктів. Це здійснюється на основі онтологічного підходу, який упорядковує, спрощує та робить більш «дружнім» і зрозумілим для користувача використання всієї множини розроблених методів, моделей та алгоритмів. Це дуже наочно показано у 6 розділі роботи.

2. Є певні не дуже вдалі формулювання. Наприклад, на ст.44 у «Вступі»: «...запропоновано та обґрунтовано архітектуру програмного забезпечення та комп'ютерне середовище для математичного моделювання статичних систем з нелійними характеристиками на основі аналізу інтервальних даних, яке, на відміну від існуючих, імплементує підсистему інтервального моделювання в сервісно-орієнтоване середовище...». Запропоновано «комп'ютерне середовище, яке імплементує підсистему інтервального моделювання у сервісно-орієнтоване середовище...»?

3. Пункт наукової новизни про архітектуру програмного забезпечення, на нашу думку, є не науковим, а практичним результатом. Причому вагомим практичним результатом, рівнозначним розробленій методиці та технології застосування наукових результатів. Незрозуміло, чому у розділі практична цінність це не виділено. А наукових результатів у галузі математичного моделювання і без цього вистачає.

4. Розроблений у п. 2.3 метод параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем із нелійними характеристиками, побудований на властивостях диференційованої цільової функції оптимізаційної задачі, є непридатним у випадку наявності дробово-раціональних базисних функцій, які породжують

розриви другого роду. Хоча таке на практиці зустрічається не часто, але це обмеження треба було вказати, бо немає, так би мовити «панацеї від усіх бід».

5. Розроблений у п. 3.3 метод структурної ідентифікації, хоча й знижує обчислювальну складність завдяки спрямованому вибору структурних елементів, містить процедури розв'язання рівнянь для визначення параметрів та обчислення часткових похідних, що створює додаткові обчислювальні витрати та вимагає ширшого дослідження. Нелінійні рівняння це дуже складний об'єкт і при будь-якій трансцендентній неалгебраїчній складовій їх розв'язання вимагає застосування додаткових чисельних методів та алгоритмів.

6. Із матеріалів розділу 4 не зрозуміло, яким чином вибираються методи структурної ідентифікації під час реалізації процедурної частини онтологічного опису предметної області ідентифікації інтервальних моделей статичних систем із нелінійними характеристиками.

7. Архітектура програмної системи, запропонована в п. 5.2, для реалізації та інтеграції методів структурно-параметричної ідентифікації, використовує низку модулів, пов'язаних із розпаралелюванням обчислень. Проте в дисертаційній роботі не вказано, яким чином це впливає на обчислювальну складність.

8. Цінність розробленого у п. 6.1 комплексу моделей процесу ферментації у біогазовій установці, що описує вплив факторів на зміну рН середовища, але не враховує динаміку процесу, може викликати сумніви, хоча акти успішного практичного використання наведено. Доцільно було б доповнити його динамічними моделями, які забезпечують врахування динаміки рН середовища бродіння багатокомпонентного субстрату та відповідне прогнозування, але це вже тема іншого дослідження.

9. В висновках по роботі та по розділах бракує чисельних оцінок по зменшенню обчислювальної складності запропонованих та розроблених методів та моделей, хоча в роботі при бажанні це можна відшукати, але

бажано кожний висновок, де стверджується досягнення певного позитивного ефекту, ілюструвати чисельними оцінками. Це набагато покращує сприйняття роботи.

10. Не бачу одноосібних публікацій автора. Безумовно, це не є обов'язковою вимогою при захисті докторських дисертацій, але як підтвердження рівня самостійності вченого не завадить.

Вказані зауваження та дискусійні питання істотно не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації, та суттєво не знижують її наукової та практичної цінності.

Висновок про відповідність роботи встановленим вимогам МОН України

Дисертаційна робота Манжули Володимира Івановича за темою: «Методи та програмні засоби ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками» є завершеним науковим дослідженням, яке виконано самостійно, вирішує актуальну науково-прикладну проблему, має вагомe теоретичне та практичне значення. Отримані теоретичні результати мають належне наукове обґрунтування, є новими та раніше не представлялися до захисту. Дисертаційна робота за своїм змістом, темою, метою, об'єктом та предметом досліджень, висновками, рекомендаціями відповідає спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки).

Зважаючи на актуальність дисертаційної роботи, новизну теоретичних положень, практичну цінність результатів, рівень висвітлення результатів дослідження в публікаціях наукових видань, можна зробити висновок, що дисертація повною мірою 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 липня 2021 р., а її автор, Манжула Володимир Іванович, 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,
Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Вінницького національного технічного університету

Роман КВЕТНИЙ

Внешний секретарь
К. т. н.,



ВНТУ

Сучасний підхід