

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Манжули Володимира Івановича** на тему:

«Методи та програмні засоби ідентифікації інтервальних моделей

статичних систем з нелінійними характеристиками»,

подану на здобуття ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи»

**Актуальність теми дослідження.** Математичне моделювання є універсальним засобом дослідження екзогенних впливів на складні об'єкти в різноманітних сферах: економіка, екологія, енергетика, сільське господарство медицина тощо. Застосування методів і засобів математичного моделювання дозволяє оцінити вплив зовнішніх чинників на функціонування складних об'єктів чи систем. Зокрема, використання математичних моделей для складних об'єктів забезпечує можливість дослідження наслідків змін екзогенних умов і на цій підставі приймати обґрунтовані рішення, особливо у тих сферах, де екзогенні впливи мають тенденцію до зміни динаміки розвитку. Як відомо, у такому разі доцільно будувати їхні моделі у вигляді нелінійних функціональних залежностей, що описують зв'язки між вхідними змінними та нелінійними характеристиками об'єкта, який розглядають як статичну систему та забезпечують можливість коректно інтерпретувати причинно-наслідкові зв'язки для виявлення поведінкових закономірностей.

Відомо, що для побудови адекватних математичних моделей, які характеризуються високою адекватністю, важливим є ефективний інструментарій для проведення структурно-параметричної ідентифікації. А під час розроблення такого інструментарію необхідно водночас забезпечити баланс між обчислювальною складністю його застосування й якістю отриманої математичної моделі статичного об'єкта з нелінійними характеристиками.

Отже, у роботі здобувача досліджується важлива науково-прикладна проблема зниження обчислювальної складності процедур реалізації методів

ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками.

Дисертаційна робота виконана згідно з пріоритетним напрямом «Інформаційні та комунікаційні технології» відповідно з чинним законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки». Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з науковим напрямом досліджень, що виконувалися за держбюджетною тематикою кафедри комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету, на тему «Математичне та комп'ютерне моделювання об'єктів з розподіленими параметрами на основі поєднання онтологічного та інтервального аналізу» (2023-2024 рр., держреєстраційний номер 01220001497); НДР «Національна концепція екобезпеки суспільства та інклюзія циркулярної економіки в умовах пандемії» (2021-2022 рр., держреєстраційний номер 01210109485); НДР «Математичне та програмне забезпечення для ідентифікації та моніторингу особливо небезпечних джерел забруднення ґрунту та ґрунтових вод» (2020-2021 рр., держреєстраційний номер 0120U102040); НДР «Математичне та програмне забезпечення для класифікації тканин хірургічної рани в процесі операції на органах ший» (2017-2018 рр., держреєстраційний номер 0117U000410); НДР «Теорія побудови та методи реалізації в реальному часі міждисциплінарних математичних моделей зміни стану складних об'єктів» (2014-2015 рр., держреєстраційний номер 0114U000569); НДР «Інформаційна технологія для ідентифікації і візуалізації поворотного горганного нерву в процесі хірургічної операції на щитовидній залозі» (2012-2013 рр., держреєстраційний номер 0112U000078).

Напрямок дисертації збігається також з госпдоговірною тематикою, в яких здобувач був виконавцем трьох науково-дослідних робіт за вказаним напрямом наукових досліджень. Актуальність роботи підтверджується, наданими в роботі актами про впровадження результатів досліджень в освітній процес, удосконаленнями технології промислових підприємств, а також результатами теоретичних і експериментальних досліджень, оприлюдненими в фахових виданнях і численних апробаційних матеріалах конференцій.

Зазначене вище засвідчує актуальність обраної проблематики дисертаційної роботи здобувача, актуальність вибору предмета й об'єкту, мети та завдань поданого дослідження. Об'єктом дослідження є методи ідентифікації математичних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками на підставі аналізу інтервальних даних. Предметом досліджень є гібридні методи структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками та методи і засоби їхнього застосування, що орієнтовані на використання ефективних стратегій і алгоритмів оптимізації.

**Особистий внесок дисертанта в отриманні наукові результати.** Дисертаційна робота Манжули В.І. є завершеною науковою працею, виконаною особисто на високому теоретико-методичному рівні, в якій отримано нові науково обгрунтовані результати, що в сукупності розв'язують важливу науково-прикладну проблему зниження обчислювальної складності процедур реалізації методів ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками.

**Ступінь обгрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.** На підставі аналізу змісту дисертаційної роботи здобувача можна зробити висновок, що наукові засади, сформульовані автором у результаті виконаних досліджень, є належно обгрунтованими, оскільки ґрунтуються на теорії систем, теорії математичного моделювання, оптимізаційних і числових методах, методах інтервального аналізу даних, коректному використанні експериментів для підтвердження й інтерпретації отриманих результатів. Достовірність висновків і рекомендацій дослідження забезпечено завдяки коректному застосуванню математичних методів, зокрема, методів інтервального аналізу даних, адекватністю побудованих математичних моделей у вигляді інтервальних алгебричних рівнянь, несуперечністю з досягнутим рівнем знань в цій галузі, ефективній програмній реалізації, детальному аналізу та практичному впровадженню результатів дисертаційної роботи. Отже можна стверджувати, що висновки та практичні вирішення, отримані в дисертації, коректні, належно обгрунтовані й можуть бути

рекомендовані до використання в проектних і експлуатаційних організаціях технічного спрямування, а також у навчальному процесі під час готування фахівців за першим і другим освітніми рівнями вищої освіти за технічними та комп'ютерними спеціальностями.

**Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження.** Результати дисертаційного дослідження містять наукову новизну, а саме:

- уперше запропоновано й обґрунтовано комплексний підхід до ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, що ґрунтується на поєднанні онтологічного описання предметної області ідентифікації таких моделей, методів аналізу інтервальних даних і гібридних методів глобальної та локальної оптимізації, що сукупно забезпечило зниження складності та часової тривалості розв'язування задач ідентифікації моделей;

- уперше розроблено метод параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який, на відміну від наявних, ґрунтується на розв'язуванні оптимізаційної задачі з нелінійною цільовою функцією, що мінімізує квадратичне відхилення між обчисленими значеннями модельованої характеристики статичної системи та значеннями, вибраними на числових інтервалах результатів експерименту, що уможливило гарантовану квадратичну збіжність на підставі застосування квазі-ньютонівських методів оптимізації;

- уперше розроблено метод структурної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який, на відміну від наявних, ґрунтується на аналізі градієнта цільової функції та частинної похідної за параметром моделі редукованого чи доданого структурного елемента, що уможливило напрямлений вибір структурних елементів і зниження кількості ітерацій обчислюваних процедур;

- розроблено уніфікований метод ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, який, на відміну від наявних, ґрунтується на знання-орієнтованому підході вибору методів параметричної та структурної ідентифікації в залежності від характеристик

задачі, що забезпечило зниження часової складності реалізації методу ідентифікації;

- запропоновано та обґрунтовано архітектуру програмного забезпечення та комп'ютерне середовище для математичного моделювання статичних систем з нелінійними характеристиками на основі аналізу інтервальних даних, яке, на відміну від наявних, 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 в сукупності спростило процес моделювання та наближеність користувача до розроблених сервісів;

- розроблено інтервальні моделі залежності рН середовища в ферментаторі біогазової устами від складу завантаженої в біореактор сировини та технологічних параметрів процесу виробництва біогазу з багатокомпонентного субстрату, що забезпечило визначення допустимих варіацій значень рН середовища в залежності від співвідношення сухої та рідкої фракції сировини для стабільності процесу бродіння в ферментаторі;

- удосконалено систему критеріїв обчислювальної процедури оптимізації в задачах параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками, яка, на відміну від наявних, використовує додатковий критерій зупинки на поточній ітерації оптимізаційної процедури шляхом перевірки адекватності інтервальної моделі, що забезпечило зниження обчислювальної складності зазначеної процедури;

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

**Повнота опублікування основних положень дисертації.** Основні результати дисертаційного дослідження достатньо повно викладено в 61 опублікованих наукових працях, з них: 20 статей у наукових фахових

періодичних виданнях, у тому числі 14 статей у наукових фахових виданнях України та 6 статей у закордонних періодичних виданнях, що включені в наукометричні бази Scopus та/або Web of Science, 1 монографія, та 40 публікацій у матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій (з них 17 публікацій включено в наукометричні бази Scopus та/або Web of Science). Загалом 23 публікації здобувача внесено до наукометричних баз Scopus та/або Web of Science.

Наявні публікації здобувача достатньо повно відображають зміст усіх розділів дисертаційної роботи, а видання, в яких опубліковано зазначені наукові праці, відповідають профілю спеціальності й дають змогу науковій громадськості та фахівцям у сфері математичного моделювання й інженерії програмного забезпечення ознайомитися з отриманими автором науковими результатами.

#### **Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення матеріалу.**

Дисертаційна робота Манжули В. І. заслуговує позитивної оцінки, зокрема, з огляду на її логічну структуру та викладені в ній теоретичні положення та прикладні напрацювання. Текст роботи повністю відповідає меті та сформульованим завданням дослідження. Робота викладена в логічній послідовності й оформлена відповідно з чинними вимогами.

#### **Дискусійні положення та зауваження до дисертаційного дослідження.**

1. У п. 2.5. другого розділу запропонований алгоритм побудови інтервального коридору моделей на підставі точкового розв'язку з використанням аналізу допускової області розв'язків, однак цей алгоритм не застосований під час реалізації прикладних задач у шостому розділі.
2. У роботі доцільно окремо дослідити питання впливу потужності множини потенційних структурних елементів під час побудови математичної моделі на обчислювальну складність методу структурної ідентифікації інтервальних статичних моделей, який запропоновано у п. 3.3.

3. Рисунок 4.4. доцільно деталізувати, оскільки подане на ньому описання онтології задачі моделювання статичних систем з нелінійними характеристиками є визначальним для реалізації комплексного підходу до ідентифікації інтервальних моделей і впливає на запропонований у межах такого підходу, у п. 4.3. доцільно було б детальніше обґрунтувати метод моделювання статичних систем з нелінійними характеристиками.
4. У роботі недостатньо уваги приділено дослідженням, що стосуються представленню деталей побудови онтології задачі моделювання статичних систем з нелінійними характеристиками.
5. У роботі, в п. 6.3, на етапі структурної ідентифікації використовується метод нарощення структури моделі, однак, у роботі не обґрунтовано вибір саме цього методу.
6. У роботі зустрічаються окремі мовні огріхи, зокрема кальки-русизми: «виходячи із», «в рамках», «такого роду», «разом з тим», «ящик» тощо.

Указані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

**Загальний висновок.** Дисертаційна робота Манжули В. І. «Методи та програмні засоби ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками» є оригінальною та завершеною науково-дослідною працею, у якій отримано нові наукові результати, що мають теоретичну та практичну цінність.

Дисертаційна робота Манжули Володимира Івановича за своїм змістом, темою, об'єктом і предметом дослідження, висновками та рекомендаціями відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

За актуальністю вирішеної науково-прикладної проблеми, обсягом виконаних досліджень, новизною та практичною значущістю отриманих результатів дисертаційна робота «Методи та програмні засоби ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з нелінійними характеристиками»

відповідає вимогам 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 – Манжула Володимир Іванович – заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

**Офіційний опонент:**

завідувачка кафедри теоретичної і  
загальної електротехніки  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
доктор технічних наук,  
професор



Оксана ГОГОЛЮК

Підпис О. Гоголюк засвідчую:

Учений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка»



Роман БРИЛИНСЬКИЙ