

**ВІДГУК**

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора **Рудакової Ганни Володимирівни**  
на дисертаційну роботу **Полякова Михайла Олексійовича** на тему:  
**«Теоретико-множинні моделі функціональних структур інтегрованих і  
когнітивних систем»**,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю  
01.05.02 — «Математичне моделювання та обчислювальні методи»

**Актуальність теми дослідження та її зв'язок з науковими програмами.**

Дослідження Полякова М.О. присвячено моделюванню систем технічного призначення на теоретико-множинному рівні. Прикладами таких систем є системи промислової автоматизації, робототехнічні, мехатронні та інші «розумні» системи, головними вимогами до яких є адаптивність, ієрархічність та інтероперабельність підсистем. У наступний час постійно зростають складність та вимоги до функціонування таких систем, які недостатньо відображені в їх математичних моделях на високому рівні узагальнення. Проблемою відомих моделей функціональних структур інтегрованих систем є недостатній рівень узагальнення моделі відносно операцій процесів її діяльності, а також відсутність типової функціональної структури через те, що моделі не враховують їх інтегровану структуру, тобто наявність вкладених інтегрованих підсистем різних видів (наприклад, інформаційно-керуючих), які підвищують форму знань та деталізують вплив системи на об'єкт. Тому тема дослідження є актуальною.

Дисертаційна робота виконувалася в Національному університеті «Запорізька політехніка» у межах до науково-дослідних робіт: «Дослідження систем прогнозування та покращення енергоефективності електромеханічних, електронних апаратів та обладнання енергоємних виробництв» (2015—2018 рр., №ДР 0119U001350), «Інтелектуальні інформаційні технології обробки даних» (2018—2021 рр., №ДР 0118U100063).

**Структура та стислий зміст роботи.**

Представлену дисертацію викладено на 389 сторінках загального тексту (основний текст дисертації викладено на 329 сторінках) зі вступом, шістьма розділами, висновками, списком використаних джерел, що містить 165 найменувань, та з 4 додатками.

Матеріал розміщено по розділах цілком логічно та послідовно:

У *вступі* автором обґрунтовано актуальність теми дисертації; сформульовано мету та задачі дослідження, представлено зв'язок з науковими програмами, планами, темами; визначено об'єкт, предмет та методи дослідження; висвітлено основні результати, що містять наукову новизну та практичну значимість; наведено дані про публікації та особистий внесок здобувача у наукових працях опублікованих у співавторстві.

У *першому розділі* наведено результати аналізу стану моделювання на теоретико-множинному рівні систем технічного призначення. Аналіз висвітлив існування класу ієрархічних систем, загальні властивості яких полягають у тому, що вони містять декілька підсистем, які мають спільні елементи, та пристрій керування одного рівня може бути об'єктом керування на інших рівнях. Для опису таких систем введено термін «інтегровані системи», визначена недостатня інтероперабельність моделей таких систем та обмежені функціональні властивості моделей їх елементів. Розглянуто також клас ієрархічних систем, які використовують у процесі функціонування різні форми знань. Для таких систем визначені недостатня інтероперабельність їх підсистем, уніфікованість структур, наочність відомих математичних описів функціональних структур інтегрованих та інтелектуальних систем унаслідок підвищення складності об'єктів систем та вимог до якості їх функціонування.

За результатами виконаного аналізу обрано основні напрями дослідження та поставлено основні задачі дисертаційної роботи.

Матеріали *другого розділу* роботи обґрунтовують теоретико-множинні моделі функціональних структур інтегрованих систем, що описують їх як ієрархічну структуру, деякі підсистеми якої взаємодіють через спільні елементи. Розроблено нові моделі елементів системи — небінарних, семантичних і гібридних скінченних автоматів, що дозволило збільшити рівень узагальнення моделі відносно операцій процесів діяльності системи, розширити базу знань для прийняття керуючого рішення та скоротити час створення моделі. Запропоновано використання fuzzy контролерів для реалізації керуючих пристроїв відповідно до кортежів небінарних автоматів.

У *третьому розділі* запропоновано теоретико-множинні моделі типових функціональних структур систем зі штучним інтелектом на базі пірамід форм знань та діяльності, визначені властивості конверторів форм знань, структура рівнів керування системи, параметри та методика динамічного визначення цілей функціонування системи, сформульовано принцип однорідності знань у інтегрованих системах. Запропоновано теоретико-множинні моделі операцій перетворення форм знань і діяльності у вигляді відповідних відображень множин і автоматів. Визначено автомати цілей, сценаріїв та поведінки для досягнення цих цілей. Ці моделі описують типові варіанти, зовнішні зв'язки та логіку роботи керуючих підсистем інтегрованої системи, що полегшує їх вибір і, у кінцевому результаті, скорочує витрати на проектування.

*Четвертий розділ* присвячено дослідженню ефективності моделей елементів інтегрованих систем за розробленими критеріями та за допомогою програмних симуляторів керуючих автоматів. Доведено, що доцільно розрізняти функціональну та технологічну поведінку автоматів керування.

Для автоматизації експериментів із тернарними автоматами була розроблена програмна реалізація алгоритму симуляції автоматів, яка імітує поведінку автоматів, тобто обчислює значення станів і виходів автоматів відповідно до

введених даних структури стану, послідовності входів та структури керування. Для порівняння властивостей тернарних і бінарних автоматів були розроблені за допомогою програми JFLAP моделі бінарних автоматів з еквівалентними властивостями. Запропоновано показники ефективності технологічної поведінки автоматів керування, такі як кількість варіантів реалізованої поведінки та зменшення кількості станів або значень виходів автоматів у порівнянні з базовою моделлю бінарних некерованих автоматів. Запропоновані показники передбачається використовувати для обґрунтування вибору типу проєктованого автомата.

Запропоновано використовувати керований скінченний автомат як модель типового елемента для реалізації інтероперабельності систем. Суть взаємодії полягає у виборі керуючим автоматом варіанти поведінки керованого автомата з використанням інформації, наданої керованим автоматом через свої виходи. Наведено, що сенс взаємодії систем в інтегрованій системі визначається її призначенням, цілями функціонування та іншими факторами. Гнучкість і різноманіття видів взаємодії у системі досягнуті через опис структури автомата у вигляді файлів даних у текстовому форматі та виконання автомата з такою структурою в універсальному програмному середовищі. Для автоматизації експериментів з інтероперабельністю систем розроблено програмну реалізацію алгоритму симуляції взаємодії автоматів, зі застосуванням якої виконано моделювання взаємодії таких автоматів, яке підтвердило можливість і гнучкість функціональної взаємодії систем інтегрованої системи.

У *п'ятому розділі* розглянуто застосування запропонованих моделей інтегрованих систем з використанням технологій штучного інтелекту для такого перспективного класу систем, як віддалені лабораторії для дистанційної інженерної освіти. Для визначення показників якості та ефективності застосування розглянуті категорії та ролі людей, які взаємодіють з віддаленою лабораторією, та тернарне відношення між параметрами навчального процесу, можливостями лабораторії та потоком учнів, що визначає простір актуальних показників якості та ефективності застосування віддалених лабораторій.

З використанням запропонованих моделей інтегрованих систем була промодельована система віддаленої лабораторії цифрових систем. На теоретико-множинному рівні вона подана як трирівнева структура візуальних, віртуальних і керуючих підсистем, які розроблені з використанням запропонованих методів формування доданої функціональності й інтерфейсу для сприйняття експерименту, що дозволило перетворити фізичну модель кінцевого об'єкта в кіберфізичну зі збільшеним різноманіттям експериментів на наявній базі фізичних моделей.

У матеріалах *шостого розділу* роботи наведено теоретико-множинні моделі функціональної структури й елементів розробленої системи безперервного визначення ресурсу складного технічного об'єкта на прикладі силового трансформатора. Розглянуто математичні моделі, що пов'язують параметри

процесів у трансформаторі з оцінкою залишкового ресурсу його ізоляції, такі як інтеграл старіння, рівняння теплового балансу трансформатора. Запропоновано пошарову модель розподілу температури та вологості в обмотці трансформатора, яка враховує різноспрямовану динаміку температури та вологості уздовж вертикальної осі обмотки, можливість міграції найбільш «ресурсовитратної» точки целюлозної ізоляції обмотки, яка підвищує точність оцінювання витрат ресурсу ізоляції. Запропоновано методику оцінки залишкового ресурсу ізоляції потужного трансформатора на основі врахування особливостей його життєвого циклу та імітаційного моделювання прогнозованих результатів впливів зовнішніх факторів на стан ізоляції. Запропоновано модель операційного автомата підсистеми діяльності, який виконує функції нечіткого регулятора охолодження трансформатора. Розроблено структуру та виконано комп'ютерне моделювання роботи запропонованого нечіткого регулятора у порівнянні зі звичайним у контурі охолодження трансформатора, що працює в стандартному режимі стаціонарних навантажень. Запропоновано методи реалізації елементів системи зі штучним інтелектом, які функціонують у різних програмних середовищах.

Це дозволило розширити функціональні можливості системи щодо прогнозування збільшення терміну використання технічного об'єкта, підвищити на цій основі точність прогнозування та зменшити витрати на створення системи через використання типової структури систем і елементів.

Розглянуто результати реалізації запропонованих методів і моделей інтегрованих систем у навчальному процесі підготовки магістрів у Національному університеті «Запорізька політехніка».

У *висновках* сформульовано основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи. У *додатках* наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, які підтверджують та доповнюють отримані автором результати, та довідки про впровадження результатів наукових досліджень.

**Вірогідність отриманих результатів, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій.**

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в роботі, підтверджується коректною постановкою основних задач досліджень, правильним використанням методів їх вирішення, послідовним використанням системного підходу, математичним обґрунтуванням, результатами аналітичних розрахунків та комп'ютерного моделювання, позитивними результатами апробації, впровадженням та позитивними результатами дослідницько-промислової перевірки запропонованих рішень.

Достовірність отриманих у роботі результатів забезпечується використанням сучасних методів і засобів аналізу, розрахунку, сучасних методів обробки даних та імітаційного моделювання; адекватністю, в рамках прийнятих припущень, математичної моделі.

Ступінь значущості й важливості отриманих результатів визначається загальністю постановок задач, універсальністю їх розв'язання, а також практичною спрямованістю отриманих результатів.

Основні наукові положення, висновки і рекомендації, які отримані автором і представлені в дисертаційній роботі, прямо пов'язані з метою дослідження і задачами, що вирішуються для її досягнення.

### **Основні наукові результати досліджень та наукова новизна дисертації.**

Огляд наукових та практичних результатів дисертаційної роботи свідчить, що здобувачем, відповідно до поставленої мети, наведено нове розв'язання наукової проблеми, яка полягає в удосконаленні математичних моделей функціональних структур інтегрованих систем із підвищенням інтегрованості їх підсистем та використанням технологій штучного інтелекту і, на підставі цього, розширення функціональних можливостей моделей таких систем і уніфікації функціональних структур та елементів таких систем.

Серед наукових положень, запропонованих і обґрунтованих автором, найбільш важливими є наступні:

- **вперше** розроблено теоретико-множинну модель функціональної структури системи, яка відрізняється тим, що інтегрує її підсистеми за принципом взаємодії через спільний елемент, що дозволяє підвищити інтегрованість їх моделей, зменшити час реагування на зміни та підвищити точність опису функціонування інтегрованої системи.

- **вперше** розроблено теоретико-множинну модель небінарного скінченного автомата, яка відрізняється складом і небінарними властивостями елементів множин та описом функцій на рівні станів автомата, а саме, введенням множин керувань, функцій станів автомата, які задають умови активації стана, тип активності виходів та структуру переходів з активного стану та через це збільшують рівень узагальнення моделі відносно до операцій процесів діяльності системи, що дозволяє підвищити наочність моделі та скоротити час створення моделі.

- **вперше** розроблено семантичну модель скінченного автомата та метод її використання, яка відрізняється семантичною формою опису причинно-наслідкових відносин у автоматі та в його станах, введенням контурів діяльності та керування, які взаємопов'язані через стани автомата, що шляхом розширення бази знань для прийняття коригувального рішення та використання засобів логічного висновку дозволяє підвищити адаптивність системи та зменшити витрати на діагностування системи.

- **вперше** запропоновано модель інтелектуальної системи, яка відрізняється тим, що базується на принципі однорідності знань про систему, її зовнішнє середовище та кінцевий об'єкт і, на відміну від принципу фон Неймана для обчислюваних систем, характеризується розширенням об'єкта однорідності, теоретично обґрунтовує використання знань про систему при її адаптації, що дозволяє збільшити прибуток від експлуатації кінцевого об'єкта.

- **вперше** розроблено узагальнену теоретико-множинну модель функціональної структури системи, яка відрізняється використанням інтегрованої деревоподібної ієрархії підсистем на рівнях безпосереднього, сигнального, обчислювального, інформаційного, когнітивного (рівень знань), концептуального та цільового моделювання, які взаємодіють з базою знань у різних формах піраміди знань, що дозволяє будувати моделі систем різного призначення з уніфікованих елементів та зменшити на цій основі терміни їх створення.

- **удосконалено** теоретико-множинні моделі структур контурів дискретного, безперервного та гібридного керування, які відрізняються тим, що побудовані через агрегацію типових модулів керуючих автоматів та вхідних, вихідних і проміжних операційних автоматів із додатковими входами та виходами керування, що дозволяє будувати адаптивні підсистеми діяльності з уніфікованих модулів та зменшити на цій основі терміни їх створення.

- **удосконалено** модель створення керуючих та операційних автоматів, яка відрізняється тим, що до формалізмів мови LD промислових контролерів стандарту МЕК 61131-3 додано конструкції автоматів, що дозволяє типізувати процес створення моделей автоматів та зменшити на цій основі трудомісткість їх синтезу.

- **удосконалено** методи моделювання процесів в інтегрованій системі на основі динамічного визначення комплексу цілей її функціонування, які відрізняються тим, що поточний комплекс цілей відповідає певному стану та виходу скінченного автомата цілей, а умови переходу до цього стану формуються конверторами та операційними автоматами інтелектуальних підсистем через обрання стратегії роботи з цілями, оцінювання цілей та поточного стану їх досягнення за пропонованим комплексом показників, що дозволяє типізувати функціональну структуру підсистеми визначення цілей функціонування системи та зменшити на цій основі трудомісткість створення її моделі.

- **удосконалено** модель підсистеми діяльності інтегрованої системи, яка відрізняється тим, що побудована у вигляді ієрархії рівнів із керованими скінченими автоматами цілей, сценаріїв, поведінки та операцій, які пов'язані шинами, що дозволяє типізувати структуру підсистеми, розширити її адаптивні можливості, запобігти конфліктам цілей та зменшити на цій основі трудомісткість створення моделі підсистеми діяльності.

- **удосконалено** модель функціональної структури віддаленої лабораторії для вивчення цифрових об'єктів, яка відрізняється тим, що подає її як інтегровану систему запропонованих кіберфізичних моделей об'єктів, на основі чого дозволяє збільшити різноманіття експериментів та зменшити витрати через заміну коштовних фізичних моделей на більш дешеві та прості моделі з емуляцією можливостей складних моделей.

- **удосконалено** теоретико-множинні моделі системи безперервного прогнозування параметрів складного технічного об'єкта (на прикладі потужного трансформатора), які відрізняються тим, що використовують запропоновані

моделі функціональної структури інтелектуальних систем та спеціалізованих конверторів і керуючих автоматів, що дозволяє через використання нових форм знань, обрання та адаптації цілей функціонування системи розширити функціональні можливості системи, а, також, зменшити витрати на створення системи через використання типової структури систем та елементів.

**Значущість отриманих результатів для науки та практичного використання.**

**Значущість** отриманих результатів полягає в тому, що розроблено комплекс моделей для досліджень та синтезу функціональної структури інтегрованих систем, в тому числі віддалених лабораторій цифрових об'єктів та систем безперервного прогнозування параметрів витрат ресурсу об'єкту технічного призначення. Запропоновані моделі елементів систем — керуючі автомати із небінарними елементами множин та семантичні автомати й операційні автомати, мають розширену функціональність, що дозволило зменшити розмірність опису структури складної системи.

**Практичне значення** отриманих результатів також полягає в тому, що розроблені методики та рекомендації дозволяють зменшити витрати часу на створення математичної моделі інтегрованої системи; збільшити точність прогнозування через розширення бази знань систем безперервного прогнозування параметрів ресурсу технічного призначення; реалізувати нові види моделей систем та збільшити різноманіття експериментів у віддалених лабораторіях цифрових об'єктів.

Практичне значення отриманих у дисертаційній роботі результатів підтверджено актами впровадження, зокрема:

- впровадження матеріалів дисертації в Національному університеті «Запорізька політехніка» у науково-дослідну діяльність, модернізацію віддалених лабораторій та навчальний процес підготовки магістрів;
- впровадження матеріалів дисертації в ТОВ «Енергоавтоматизація» у виробничо-дослідницьку діяльність при створенні систем безперервного контролю параметрів потужних трансформаторів;
- впровадження матеріалів дисертації в Технічному університеті Ільменау при модернізації віддаленої лабораторії GOLDi.

**Повнота викладення наукових положень в опублікованих працях.**

За темою дисертаційної роботи автором опубліковано 48 наукових праць, з них основні наукові результати викладено у 30 роботах, у тому числі індексовані в НМБ *Scopus* –7; робіт, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації – 17, у тому числі індексовані в НМБ *Scopus* – 10 робіт; одна робота, яка додатково відображає наукові результати й індексована в НМБ *WoS*.

Порівняння змісту дисертаційної роботи і опублікованих праць показує, що наукові положення дисертації достатньо добре відображені у публікаціях. Рівень та кількість публікацій та рівень апробації результатів відповідають вимогам, що ставляться до докторських дисертацій в Україні.

### **Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації й автореферату.**

Дисертаційну роботу **написано грамотно, на високому стилістичному рівні**. Матеріал дисертації подано в логічній послідовності відповідно до поставлених задач дослідження, їх рішення розкрито повністю. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

**Оформлення дисертації** відповідає Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017р. (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 03 лютого 2017 р. за № 155/30023). Обсяг і структура роботи відповідають вимогам, що висуваються до докторських дисертацій.

**Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи**, написаний грамотно та з використанням сучасної наукової термінології. Оформлення дисертаційної роботи й автореферату відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України. Автореферат дисертації містить всі необхідні структурні розділи, відповідає змісту дисертаційної роботи, містить рисунки, таблиці і аналітичні вирази, що є достатнім для аналізу і оцінки результатів дисертаційної роботи.

**Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень за якими була захищена кандидатська дисертація.**

На жаль, відсутні матеріали кандидатської дисертації Полякова М.О. дозволені для відкритої печаті, але її тема «Методы и средства повышения эффективности автоматизированного контроля электрических соединений в узлах корабельной цифровой вычислительной техники» (рос. мовою), наукова спеціальність 05.13.05 «Елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування», дата захисту – 1988 рік, та перелік наукових праць здобувача за темою кандидатської дисертації дозволяють зробити висновок, що матеріали кандидатської дисертації Полякова М.О. не використані у його докторській дисертації.

Робота носить комплексний багатоплановий характер і має наступні зауваження.

### **Зауваження до змісту дисертаційної роботи.**

1. Не зовсім вдало застосовано термін «когнітивні системи» для інтегрованих технічних систем, що розглядаються, зокрема і в назві дисертації. Він найкраще підходить для опису організаційно-технічних систем, де необхідно аналізувати вплив людського фактору (компетентностей, вмінь і навичок) на ефективність функціонування інтегрованої системи. Вважаю, що більш доречним, в даному випадку, вживання терміну «системи зі штучним інтелектом».

2. Не наведено, що мається на увазі під терміном «перспективна система» (стор. 9 автореферату, стор. 49 дисертації) та які властивості ним притаманні.

3. Не наведено оцінку об'єму пам'яті обчислювальних потужностей та часу, які необхідні для підготовки та здійснення моделювання із застосуванням запропонованих підходів при «розширенні інформаційної бази керування й



ускладнення алгоритмів її обробки» (стор. 49 дисертації), в залежності від складності інтегрованої системи.

4. Зустрічається невдале вживання термінів. Наприклад, замість терміну «творці» доцільніше використовувати термін «розробники» (стор. 231), замість терміну «зміст» інколи потрібно вживати «сенс» (міркувань, діяльності та ін.).

5. У висновках (стор. 353) застосовано термін «коренеподібний характер структури системи», але в тексті роботи використано термін «деревоподібний».

6. Шостий розділ переобтяжений (у 2-3 рази більше інших). У розділі міститься досить об'ємний опис різноманітних методів трансформації знань інтелектуальної системи планування ресурсу ізоляції потужного трансформатора. Для покращення сприйняття структури запропонованої моделі цієї системи бажано перенести опис частини цих методів у додатки до дисертації.

#### **Зауваження щодо оформлення дисертаційної роботи.**

7. Відсутній перелік умовних позначень та скорочень, які застосовуються при викладанні матеріалу дисертації.

8. В роботі наведено декілька списків публікацій здобувача: в анотації, в загальному списку використаних джерел та у додатку А. Тому виникають складнощі з пошуком коректного посилання. Це особливо стосується посилань у вступі на стор. 36-37.

9. В рамках кожного підрозділу 1-5 розділів доцільно було б структурувати наведений матеріал для поліпшення його сприйняття.

10. На стор. 61 та стор. 206 наведено однакові рисунки (рис. 1.10 та рис. 5.3).

11. В тексті зустрічаються орфографічні помилки, деінде відсутні знаки пунктуації.

Наведені зауваження не впливають на наукову цінність роботи в цілому та не знижують її позитивної загальної оцінки.

#### **Загальні висновки.**

Не зважаючи на вказані недоліки, можна стверджувати, що дисертаційна робота **Полякова Михайла Олексійовича** «Теоретико-множинні моделі функціональних структур інтегрованих і когнітивних систем» виконана на достатньому теоретичному та практичному рівні і являє собою завершене наукове дослідження, у якому отримано нові науково-обґрунтовані результати, що мають теоретичну та практичну цінність.

Тема дисертації і постановка задач дослідження відповідають паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки), а саме напрямкам досліджень – розроблення або розвиток теорії математичного моделювання реальних явищ, об'єктів, систем чи процесів як сукупності формалізованих дій (операцій) для складання ефективних математичних описів досліджуваних об'єктів, зокрема отримання принципово нових (нетрадиційних) видів математичних моделей у частини отримання нових математичних моделей функціональних структур інтегрованих систем та їх елементів.

Робота доволі повно висвітлює проведені дослідження і розробки, містить достатню кількість ілюстративного матеріалу. У дисертаційній роботі узагальнено результати виконаних досліджень, отримані нові, науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну науково-технічну проблему, яка полягає в удосконаленні математичних моделей функціональних структур інтегрованих систем із підвищенням інтероперабельності їх підсистем та використанням технологій штучного інтелекту і, на підставі цього, розширення функціональних можливостей моделей таких систем і уніфікації функціональних структур та елементів таких систем.

Одержані в дисертації здобувачем наукові результати є новими і мають важливе наукове та практичне значення у галузі математичного моделювання інтегрованих систем.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації. Всі теоретичні результати, висунуті на захист, отримані автором самостійно.

Вважаю, що дисертаційна робота **Полякова Михайла Олексійовича** за актуальністю, обсягом, новизною, високим науковим рівнем проведених досліджень та кількістю публікацій за темою дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. зі змінами затвердженими Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., №1159 від 30 грудня 2015 р. та № 567 від 27 липня 2016 року до докторських дисертацій, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювані методи.

Офіційний опонент:

професор кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки

Херсонського національного технічного університету

доктор технічних наук, професор,

Г. В. Рудакова

Підпис проф. Рудакової Г.В. засвідчую:

Начальник відділу кадрів

Херсонського національного

технічного університету



М.В. Танська