

Відгук

офіційного опонента Олійника Андрія Петровича
на дисертацію Ситника Олександра Олексійовича
за темою “ Методи математичного та комп’ютерного моделювання динаміки
вимірювальних перетворювачів на основі інтегральних рівнянь.”, подану на
здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи

Дисертація Ситника О.О. присвячена вирішенню науково-технічної проблеми підвищення ефективності методів і засобів математичного та комп’ютерного моделювання динамічних процесів даного класу технічних об’єктів при вирішенні задач аналізу, синтезу, проектування, побудови, конструювання та функціонування в системах вимірювання, контролю, діагностики та управління.

Актуальність теми досліджень, зв’язок з науковими програмами, планами, темами. Вимірювальні перетворювачі (ВП) є невід’ємною складовою частиною сучасних систем контролю, управління, моніторингу, діагностики, проектування технічних засобів в різних галузях науки та техніки. Ефективні методи і засоби прямих і непрямих вимірювань у поєднанні з комп’ютерними технологіями проектування та інтерпретації результатів вимірювань забезпечують інформаційну основу для досягнення високої якості функціонування технологічних об’єктів промислових виробництв, сучасних технічних систем і об’єктів в цілому. Завдяки широкомасштабному виробництву та використанню вимірювальних перетворювачів в різних областях науки і техніки протягом багатьох років інтенсивно ведуться роботи по їх вдосконаленню. Суттєве вдосконалення отримують конструктивні елементи перетворювачів завдяки появі нових технологій. Таким чином, сучасні вимірювальні перетворювачі і системи складають значну частку засобів нової техніки, для яких характерний стрімкий розвиток і широке поширення в різних областях застосування, що вимагає вирішення нових задач на функціональному, схематичному, елементному й інформаційному рівнях.

З математичної точки зору виникають питання, пов’язані вибором таких інструментів моделювання первинних перетворювачів, які дають кращий в порівнянні з існуючими рівень точності моделей.

Проектування зазначених пристроїв супроводжується вирішенням таких практичних проблем, як всебічний аналіз динамічних режимів роботи, проведення різних випробувань, розв’язання складних обчислювальних задач синтезу і оптимізації характеристик ВП. Особливої уваги при цьому заслуговує той факт, що вимірювальні перетворювачі є об’єктами і компонентами активної інформатизації та комп’ютеризації. При аналізі динамічних властивостей вимірювальних перетворювачів слід враховувати їх фізичну і структурну неоднорідність і, найчастіше, шаруватий характер чутливого матеріалу, що свідчить про принципову складність математичного опису відповідних фізичних процесів.

Виникає необхідність розробки швидкодіючих і високоточних приладів, які повинні адаптуватися до мінливих у часі умов функціонування, допускати роботу при значних рівнях завад, працювати в умовах віддаленого доступу тощо.

Проектування зазначених пристроїв супроводжується вирішенням таких практичних проблем, як всебічний аналіз динамічних режимів роботи, проведення різних випробувань, розв'язання складних обчислювальних задач синтезу і оптимізації характеристик ВП. Особливої уваги при цьому заслуговує той факт, що вимірювальні перетворювачі є об'єктами і компонентами активної інформатизації та комп'ютеризації. При аналізі динамічних властивостей вимірювальних перетворювачів слід враховувати їх фізичну і структурну неоднорідність і, найчастіше, шаруватий характер чутливого матеріалу, що свідчить про принципову складність математичного опису відповідних фізичних процесів. Таким чином, сучасні вимірювальні перетворювачі в загальному випадку відносяться до класу складних динамічних об'єктів (ДО), ефективним шляхом дослідження яких є використання методів і засобів математичного і комп'ютерного моделювання.

Існуючі наукові досягнення в галузі математичного моделювання динамічних об'єктів (систем) базуються, в основному, на застосуванні апарату диференціальних рівнянь. Створені на основі цього підходу програмні засоби отримали широке поширення і увійшли в більшість серійних пакетів комп'ютерного моделювання. Проте, є певні обмеження при вирішенні деяких класів задач моделювання. Зокрема, це відноситься до забезпечення стійкості обчислювального процесу за наявності значних рівнів завад у вигляді шумів із високочастотними спектрами у вихідних даних, врахування досить поширеного ефекту Гіббса при моделюванні об'єктів як із зосередженими, так і з розподіленими параметрами, застосування ітераційних алгоритмів аналізу, формування математичних описів за експериментальними даними та ін.

Для подолання зазначених труднощів доцільно, як доповнення до існуючих, створювати нові способи побудови і чисельної реалізації математичних моделей. Ефективним переходом в цьому напрямку є застосування певних видів інтегральних рівнянь і операторів, які мають ряд таких позитивних властивостей, як висока універсальність (структура моделі є незмінною для різних класів динамічних об'єктів, а властивості яких задаються однією функцією – ядром інтегрального оператора), потенційно висока адекватність процесів моделювання, простіші умови, що накладаються на розв'язки рівнянь, властивість згладжування при виконанні обчислень і обробки сигналів із високочастотними шумами, висока збіжність ітераційних процесів рішення обчислювальних задач, можливість ефективної побудови моделі за експериментальними даними і т.п. Підхід до моделювання динамічних об'єктів на основі інтегральних рівнянь вбачається перспективним в рамках розроблюваної теми.

Дослідження проводились в рамках науково-дослідних робіт:

«Синтез та аналіз надширокополосних багатопозиційних систем зв'язку з використанням неперервних шумових сигналів» (номер державної реєстрації № 0109U001881), де автор дисертаційного дослідження, Ситник О.О. був виконавцем;

«Створення високоефективного інтелектуального комплексу для розробки та дослідження п'єзоелектричних компонентів для приладобудування, медицини та робототехніки» (номер державної реєстрації № 0117U000936), Ситник О.О. був виконавцем;

«Моделювання процесу технічної експлуатації силових трансформаторів з урахуванням закону дифузійно-немонотонного розподілу їх відмов» (номер державної реєстрації № 0117U003070), де Ситник О.О. був керівником роботи.

Оцінка змісту та оформлення. Дисертація складається зі анотації, вступу, шести розділів, висновків, посилання та десяти додатків. Загальний обсяг роботи становить 431 сторінки, із них основного тексту дисертації – 297 сторінок, 31 рисунок, 52 таблиці, посилання включає 234 найменування та займає 26 сторінок, а також 10 додатків на 75 сторінках.

У **анотації** представлено основні результати роботи та список робіт автора за темою дисертації.

У **вступі** обґрунтована актуальність напряму досліджень, сформульовані цілі і задачі дослідження, показана наукова новизна отриманих результатів і практична цінність роботи, відображено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, приведені дані апробації, публікації і застосування результатів досліджень.

У **першому розділі** проведено аналіз математичних методів, які використовуються в задачах динаміки вимірювальних процесів. Метою розділу є визначення напрямів дослідження та вдосконалення вимірювальних перетворювачів. Для досягнення окресленої мети проаналізовані методи, спрямовані на підвищення ефективності математичного моделювання динамічних процесів в вимірювальних перетворювачах і визначені чинники, що стримують їх розвиток, на основі аналізу існуючого стану проблеми сформульовано основні задачі дослідження.

У **другому розділі** розглянуто способи наближеного аналізу вимірювальних перетворювачів за динамічними моделями. Мета розділу: розробка методів, які приводять до математичних описів вимірювальних перетворювачів, що дозволяють отримання наближених аналітичних рішень або застосування чисельних методів. Для досягнення поставленої мети здійснено аналіз теоретичних способів опису вимірювальних перетворювачів.

З метою удосконалення процесів математичного моделювання нестационарних ВП з зосередженими параметрами, що описуються звичайними диференціальними рівняннями n -го порядку зі змінними коефіцієнтами, пропонуються такі підходи.

На основі модифікації процесу послідовних наближень для вихідних диференціальних рівнянь отримано аналітичний розв'язок задачі у вигляді ряду, члени якого формуються в процесі ітерацій з цілеспрямованим вибором коефіцієнтів. Метод є ефективним у практичних задачах, де, як правило, достатньо отримати 2-3 члени ряду, хоча за комп'ютерної реалізації немає необхідності на цьому зупинятися.

Запропонований спосіб заміни змінних дає змогу замінити початкові умови вихідної задачі і перейти до однорідних граничних умов і до відповідної граничної задачі, що, у свою чергу, спричиняє зміну диференціального рівняння до інтегрального рівняння Фредгольма II роду з сепарабельним ядром. Це створює можливість скористатися одним з найефективніших методів розв'язання рівняння Фредгольма II роду, що полягає у зведенні задачі до системи алгебраїчних рівнянь і до отримання розв'язання як у чисельному, так і аналітичному вигляді.

Розглянуто підхід з використанням послідовних наближень і отриманням еквівалентних інтегральних рівнянь також можна застосувати до дослідження нестационарних ВП, представлених у досить загальному випадку рівняннями в частинних похідних другого порядку. Модифіковані ітерації призводять до подання розв'язку у вигляді ряду, як правило, що швидко збігається.

Приведення задачі до еквівалентного інтегрального рівняння Фредгольма II роду дає змогу скористатися функцією Гріна. Якщо функція Гріна є сепарабельною, то задача зводиться до двомірного рівняння Фредгольма II роду, з якого можна отримати систему однорідних (звичайних) диференціальних рівнянь другого порядку, яку розв'язують аналогічно до випадку ВП із зосередженими параметрами.

У розділі розглянуто розв'язання задачі побудови диференціальної динамічної моделі за заданою імпульсною функцією, представленою в сепарабельному вигляді. Запропонований спосіб розв'язання являє собою, насправді, процес апроксимації складних динамічних моделей більш простими моделями. На відміну від відомих у прикладній математиці методів, процес визначення диференціального рівняння ВП за імпульсною перехідною функцією динамічного об'єкта можна спростити, якщо використовувати сепарабельне подання цієї характеристики стосовно до вимірювальних перетворювачів. Використовуючи аналогію з функцією Гріна, властиві їй умови, інтегральне співвідношення між вимірюваною величиною і вихідними показниками перетворювача, за допомогою n -кратного диференціювання (n – число членів білінійного ряду, що представляє імпульсну перехідну функцію) буде отримано шукане диференціальне рівняння.

У **третьому розділі** проведено розробку алгоритмічних основ аналізу динаміки вимірювальних перетворювачів за інтегральними моделям (прямі задачі). Метою розділу є розрахунок процесів у вимірювальних перетворювачах, тобто задачі визначення вихідного сигналу, а також вихідних сигналів внутрішніх ланок структурованого ВП, по заданих: моделі ВП, її параметрів і вхідному сигналу. Для досягнення поставленої мети здійснено аналіз вимірювальних перетворювачів по інтегральних моделях на основі чисельної реалізації базового квадратурного методу розв'язання інтегральних рівнянь Вольтерри II роду. Основними видами інтегральних динамічних моделей при цьому є рівняння Вольтерри II роду та інтегральний оператор Вольтерри. Ці моделі можуть бути отримані одним з наступних методів: шляхом опису фізичних закономірностей для процесів у ВП; за допомогою перетворення вихідних математичних моделей іншого виду – звичайних диференціальних рівнянь або рівнянь в частинних похідних; методом ідентифікації на основі обробки експериментальних даних.

У **четвертому розділі** розроблено та досліджено методи і алгоритми ідентифікації інтегральних динамічних моделей вимірювальних перетворювачів. Метою розділу є вирішення задач побудови моделей вимірювальних перетворювачів за експериментальними даними. Для досягнення поставленої мети розроблено та досліджено інтегральний метод ідентифікації стаціонарних та нестационарних вимірювальних перетворювачів як з зосередженими, так і з розподіленими параметрами.

Встановлено, що для досить широкого класу ВП застосування інтегральних динамічних моделей, зокрема, моделей еквівалентних диференціальним моделям, дозволяє отримати основу для побудови високостійких чисельних алгоритмів розрахунку параметрів динамічних моделей ВП у завданні ідентифікації.

П'ятий розділ присвячено розробці методу і алгоритмів відновлення сигналу на вході вимірювального перетворювача. Метою розділу є відновлення сигналу за допомогою обробки вихідного сигналу на основі розв'язання оберненої задачі для рівняння Вольтерри I роду з орієнтацією на задачу динамічної корекції вимірювального перетворювача. Для досягнення поставленої мети розроблені методи та алгоритми чисельної реалізації інтегральних моделей в задачах відновлення сигналів вимірювальних перетворювачів.

Запропоновані швидкодіючі квадратурні алгоритми здатні забезпечити чисельну реалізацію інтегральних моделей та бути основою для побудови високопродуктивних спеціалізованих мікропроцесорних систем у режимі реального часу.

Запропоновано спосіб внутрішньої регуляризації (спосіб модельних прикладів) при розв'язанні сингулярних інтегральних рівнянь Вольтерри I роду в разі побудови математичної моделі для розв'язання задачі відновлення значень температури на робочому кінці теплового датчика стрижневого типу (високі температури, тривала експлуатація в екстремальних умовах), спосіб ресстрації значення вихідного сигналу в певний момент часу при застосуванні якого суттєво розширюються можливості отримання достовірних відомостей про досліджуваний процес для проведення над ним будь-яких математичних операцій за допомогою засобів обчислювальної техніки, а також новий спосіб забезпечення стійкості розв'язання задачі обчислювального відновлення сигналу неідеального вимірювального перетворювача, який має властивості інерційності або дефокусування. Спосіб полягає у розв'язанні задачі частинами на основі мультиплікативного розщеплення математичної моделі перетворювача.

Шостий розділ присвячений розробці комплексу програм розв'язання прямих та обернених задач моделювання вимірювальних перетворювачів на основі інтегральних рівнянь, рішення модельних і прикладних задач, проведення експериментальних досліджень. Мета розділу – організація моделюючої системи та розв'язання прикладних задач. Для досягнення визначеної мети розроблено відповідний комплекс програм, за допомогою якого здійснено розв'язання прямих та обернених задач моделювання вимірювальних перетворювачів, отримані розв'язки модельних та прикладних задач, досліджено динаміку та формування моделей вимірювальних перетворювачів.

На основі запропонованих алгоритмів вперше розроблений комплекс прикладних програм для моделювання широкого класу вимірювальних перетворювачів з реалізацією лінійних і нелінійних інтегральних моделей і їх систем в середовищі MATLAB; програмні засоби організовані відповідно до прийнятої в системі MATLAB концепції пакетів прикладних програм, що дозволяє використовувати такі властивості, як можливість спільного використання з іншими пакетами прикладних програм, можливість аналізу, корекції і застосування розроблених функцій в якості

шаблонів для розробки нових додатків, можливість використання програм в рамках системи MATLAB на будь-якій обчислювальній платформі; розроблена методика використання програм комплексу для розв'язання конкретних задач.

У **висновках** наведено найбільш важливі наукові і практичні результати, отримані при виконанні роботи.

У **додатках** наводяться акти на впровадження результатів дисертаційної роботи на підприємствах та науково-дослідних і навчальних установах. Серед них: Черкаський міський РЕМ ПАТ «Черкасиобленерго» (м. Черкаси), ТОВ «СІКАМ Україна» (м. Київ), ДП «Черкасистандартметрологія» (м. Черкаси), ПАТ «АЗОТ» (м. Черкаси), ПАТ «Тернопільський радіозавод «Оріон» (м. Тернопіль), ТОВ «Навис-Україна» (м. Сміла), у навчальному процесі Черкаського державного технологічного університету та список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

Автореферат обсягом в 51 сторінку відповідає змісту дисертації та достатньо повно відображає основні наукові результати, які отримано здобувачем. Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію, не виносяться на захист докторської дисертації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному.

Вперше запропоновані:

– аналітичний метод «розщеплення з частковим оберненням» для заданих диференціальних рівнянь, що описують вимірювальні перетворювачі з зосередженими параметрами, який, на відміну від відомих способів побудови інтегральних динамічних моделей, дозволяє отримати не одну, а ряд еквівалентних інтегральних моделей, що розширює можливість побудови високостійких чисельних алгоритмів аналізу вимірювальних перетворювачів;

– метод формування інтегральних динамічних моделей нестационарних вимірювальних перетворювачів із зосередженими та розподіленими параметрами, який, на відміну від існуючих, базується на використанні заданої імпульсної перехідної функції, представленої у сепарабельному вигляді, що надає можливість переходу до еквівалентної інтегральної моделі;

– прямий (неоптимізаційний) метод ідентифікації інтегральних динамічних моделей вимірювальних перетворювачів на основі експериментальних даних, який на відміну від відомих, передбачає формування розрахункових виразів на основі рішення алгебраїчної системи, отриманої шляхом апроксимації інтегрального оператора;

– метод «внутрішньої регуляризації» для розв'язання слабосингулярного інтегрального рівняння Вольтерри I роду в задачі відновлення вхідного сигналу вимірювального перетворювача, що, на відміну від існуючих, передбачає введення малого регуляризуючого параметра β у знаменник функції ядра, що забезпечує стійкість обчислювального процесу;

вдосконалені:

– методи прямого чисельного розв'язання лінійних і нелінійних інтегральних рівнянь вимірювальних перетворювачів на основі сепарабельного представлення ядер, які забезпечують можливість суттєвого прискорення обчислювальних процесів;

– методи ітераційного чисельного розв'язання нелінійних інтегральних рівнянь, які, на відміну від існуючих, базуються на застосуванні модифікації методу Ньютона–Канторовича, що дозволяє підвищити збіжність ітераційного процесу;

– структурно-алгоритмічний метод організації засобів комп'ютерного моделювання стосовно задач дослідження основних типів вимірювальних перетворювачів, який забезпечує візуальну побудову програм відповідно до принципу декомпозиції об'єкта, що моделюється, або його моделі;

набули подальшого розвитку:

– підхід до математичного і комп'ютерного моделювання динамічних процесів у вимірювальних перетворювачах на основі застосування апарату інтегральних рівнянь та операторів;

– принцип альтернативності (множинності різних форм) математичних моделей у задачах динаміки вимірювальних перетворювачів, для якого доведено, що для конкретного випадку вимірювань існує деяка вдало підібрана модель, яка за певних вимог до точності вимірювань дозволяє врахувати особливості конкретної розв'язуваної задачі стосовно певного критерію якості процесу моделювання;

– структурні методи отримання явних (у вигляді інтегрального оператора типу Вольтерри) і неявних (у вигляді інтегральних рівнянь Вольтерри II роду) інтегральних динамічних моделей вимірювальних перетворювачів;

– метод формування одновимірних інтегральних моделей вимірювальних перетворювачів із розподіленими параметрами на основі динамічних характеристик.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації. Викладені в дисертаційній роботі положення, а також отримані автором теоретичні та практичні результати роботи мають належний ступінь обґрунтованості. Достовірність викладених в дисертації основних наукових положень висновків та результатів, отриманих здобувачем, забезпечується коректними постановками задач, методами розв'язку та експериментальною перевіркою розроблених моделей, а також даними, отриманими при впровадженні результатів дисертаційної роботи, достатньою апробацією на науково-практичних конференціях.

Практичне значення наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації обґрунтовується наступними моментами:

1. Створені засоби алгоритмічного і програмного забезпечення процесів моделювання динаміки вимірювальних перетворювачів з використанням структурно-орієнтованого підходу забезпечують ефективну комп'ютерну реалізацію інтегральних динамічних моделей з можливістю доцільного вибору алгоритмів

відповідно властивостей конкретного завдання, можливість виконання швидких стійких рекурентних і високоточних ітераційних процедур чисельного розв'язання використовуваних видів інтегральних рівнянь.

2. Запропоновані методи моделювання та комп'ютерні засоби дозволяють забезпечити якісне відтворення властивостей, характеристик і параметрів широкого класу вимірювальних перетворювачів. Розроблений пакет прикладних програм реалізований в моделюючому середовищі MATLAB і призначений для дослідження динаміки вимірювальних перетворювачів, як в лабораторних дослідженнях, так і в умовах застосування в реальних системах вимірювання, контролю та управління.

3. Розроблено набір комп'ютерних моделей ряду найбільш широко застосовуваних на практиці видів вимірювальних перетворювачів: тиску, швидкості потоку, кута повороту, вологості газу, температури, витрат, прискорення та ін.

4. Розроблені моделі, алгоритми і програми, методики розрахунку і моделювання можуть знайти застосування в навчальному процесі технічних вузів.

5. В роботі вирішені наступні прикладні задачі: побудови моделей градієнтних приймачів теплових потоків; дослідження динаміки тактильного матричного сенсору; формування непараметричних інтегральних динамічних моделей датчиків у системах вимірювання випробувального устаткування; побудови інтегральної динамічної моделі датчика сигналів акустичної емісії.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, а також розроблені методи знайшли практичне використання та впровадження (підтверджено актами впровадження) на підприємствах України: Черкаський міський РЕМ ПАТ «Черкасиобленерго» (м. Черкаси), ДП «Черкасистандартметрологія» (м. Черкаси), ПАТ «АЗОТ» (м. Черкаси), ПАТ «Тернопільський радіозавод «Оріон» (м. Тернопіль), ТОВ «Навис-Україна» (м. Сміла), ТОВ «СІКАМ Україна» (м. Київ), а також впроваджено у навчальний процес Черкаського державного технологічного університету.

Повнота викладу основних результатів у наукових виданнях та їх апробація. За результатами виконаних теоретичних і експериментальних досліджень опубліковано 75 наукових робіт, з них 1 монографія, 8 статей у наукових періодичних виданнях інших держав, 2 патенти України, 37 статей у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку, затвердженого МОН України, 25 публікацій у збірниках міжнародних та вітчизняних науково-практичних і наукових конференцій, 1 стаття у науковому періодичному виданні, проіндексованому у міжнародній наукометричній базі даних Scopus, результати роботи були представлені та пройшли апробацію на 24 Міжнародних та Всеукраїнських конференціях, які проводились у 7 країнах Європи та Азії.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності. Зміст дисертаційної роботи відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи (пп.1,2,4), затвердженому постановою президії ВАК України від 14.06.07р. № 47-08/6,

Зауваження до роботи

До недоліків та зауважень по дисертації О.О.Ситника можна віднести наступні.

1. На початку кожного розділу приводиться невеликий огляд літератури, доцільно було б всю цю інформацію зконцентрувати в першому розділі, а всі наступні мали б містити нову інформацію.

2. При вивченні роботи (ст. 106, 107, 115, 118 та ін..) виникають питання стосовно того, чи ці результати є авторськими, чи вони є цитуванням з відомих джерел.

3. Для результатів, одержаних з використанням наближених методів, ітераційних процедур не наводяться точні оцінки похибок, приводяться лише порівняльні таблиці.

4. На ст. 172 наводиться означення інтерполяційного кубічного сплайну без наведення відповідного посилання на першоджерело.

5. На ст. 174, 199 та в багатьох інших випадках автор зловживає нестрогими термінами – «різко зростаюча функція, ...потенційно висока швидкодія, ...метод простої ітерації за незначних обмежень завжди збігається» тощо без відповідних кількісних оцінок.

6. В формулі (6.29) та в деяких інших не наводиться обґрунтування способу вибору апроксимуючих функцій та апарату згладжування.

7. Автор не дає чіткого означення терміну «модель давача».

8. Незрозуміло, чому модель давача (6.26) є функцією лише часу, адже така ситуація описує лише окремий частковий випадок.

9. Наявні окремі редакційні огріхи, невірні переклади термінів, описки.

10. Об'єм автореферата (51 сторінка) видається дещо завеликим в порівнянні з прийнятими 36-38 сторінками.

Зазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Ситника Олександра Олексійовича

Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки. На підставі вивчення дисертації, автореферату та наукових праць здобувача, які опубліковано за темою дисертації, наукові результати та висновки, що отримано автором, можна вважати вірними та оцінити позитивно.

Дисертаційна робота Ситника О.О. є ґрунтовним науковим дослідженням, в якому вирішується важлива науково-технічна проблема підвищення ефективності методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання динамічних процесів даного класу технічних об'єктів при вирішенні задач аналізу, синтезу, проектування, побудови, конструювання та функціонування в системах вимірювання, контролю, діагностики та управління.

Зміст роботи відповідає спеціальності 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи для присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, які висуваються до докторських дисертацій, а її автор Ситник Олександр Олексійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи

Офіційний опонент,
завідуючий кафедрою прикладної
математики Івано-Франківського
національного технічного університету
нафти і газу, д.т.н., професор

А.П.Олійник

Підпис проф. Олійника А.П. *засвідчую:*
Вчений секретар Івано-Франківського
нац. техн. ун-ту нафти і газу, к.т.н., доцент



В.Р. Процюк