

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Ситника Олександра Олексійовича** «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

Актуальність теми.

На сьогодні технологічні процеси оснащуються і переоснащуються автоматизованими системами керування на основі нових принципів і сучасної елементної бази. Для досягнення якісного функціонування технологічних процесів і систем розвивається їх інформаційне забезпечення для моніторингу, контролю, діагностування і керування. Такою системою, наприклад, є електроенергетична система, особливістю якої є територіальна розосередженість, необхідність поточного балансу виробництва і споживання електроенергії, а також жорсткі часові умови щодо прийняття рішень. В ній йдеться про створення оперативно-інформаційного керуючого комплексу на основі сучасних Smart Grid технологій та реалізації інформаційно-енергетичної системи як єдиного цілого. В результаті висуваються нові вимоги до вимірювальних перетворювачів, які є невід'ємною складовою частиною сучасних систем контролю, управління, моніторингу, діагностики та створення нових технічних засобів.

Метою роботи Ситника О.О. є підвищення ефективності методів і засобів математичного моделювання динамічних процесів у вимірювальних перетворювачах (ВП) на основі застосування динамічних моделей у вигляді інтегральних рівнянь, створення алгоритмічних основ і програмних засобів їх комп'ютерної реалізації, що визначає її актуальність.

У відповідності до поданих дисертаційних матеріалів результати роботи є складовою частиною науково-практичних розробок у Черкаському державному технологічному університеті. Дослідження проводились в рамках науково-дослідних робіт: «Синтез та аналіз надширокополосних багатопозиційних систем зв'язку з використанням неперервних шумових сигналів» (номер державної реєстрації 0109U001881); «Створення високоефективного інтелектуального комплексу для розробки та дослідження п'єзоелектричних компонентів для приладобудування, медицини та робототехніки» (номер державної реєстрації 0117U000936); «Моделювання процесу технічної експлуатації силових трансформаторів з урахуванням закону дифузійно-немонотонного розподілу їх відмов» (номер державної реєстрації 0117U003070), де він був виконавцем та керівником роботи.

Зміст і коротка характеристика результатів дослідження.

Перший розділ присвячено аналізу математичних методів, які використовуються в задачах динаміки вимірювальних процесів, визначени напрямки дослідження та вдосконалення вимірювальних перетворювачів.

Проаналізовано методи, які скеровані на підвищення ефективності математичного моделювання динамічних процесів у вимірювальних перетворювачах, і визначено причини, що стримують їх розвиток.

У *другому розділі* розглянуто способи наближеного аналізу вимірювальних перетворювачів за динамічними моделями. Розроблено методи математичних описів вимірювальних перетворювачів, що дозволяють отримання наближених аналітичних рішень або застосування чисельних методів. Виконано аналіз теоретичних способів опису вимірювальних перетворювачів. Запропоновано підходи удосконалення процесів математичного моделювання нестационарних ВП з зосередженими параметрами, що описуються звичайними диференціальними рівняннями n -го порядку зі змінними коефіцієнтами. Розглянуто спосіб розв'язування задачі побудови диференціальної динамічної моделі за заданою імпульсною функцією, представленою в сепарабельному вигляді. Показано, що зручним для обробки інформації про багатовимірні величини є метод інтерполяції та метод найкращої обробки експериментальних даних (чебишевська апроксимація).

У *третьому розділі* здійснено аналіз вимірювальних перетворювачів за інтегральними моделями на основі чисельної реалізації базового квадратурного методу розв'язання інтегральних рівнянь Вольтерри II роду. Показано, що моделі можуть бути отримані шляхом опису фізичних закономірностей для процесів у ВП або за допомогою перетворення вихідних математичних моделей іншого виду – звичайних диференціальних рівнянь або рівнянь у частинних похідних. Встановлено, що використання інтегрального методу розв'язання диференціальних рівнянь (в разі зведення до еквівалентного інтегрального рівняння з виродженим ядром) дозволяє знизити кількість виконуваних операцій і поліпшити точність розв'язку. Досліджено еквівалентні представлення моделей вимірювальних перетворювачів першого та другого порядків у формі диференціальних рівнянь, передаточних функцій, інтегрального оператора Вольтерри, інтегральних рівнянь Вольтерри II роду.

В *четвертому розділі* розроблено метод і алгоритм ідентифікації інтегральних динамічних моделей ВП. Побудовані моделі ВП за експериментальними даними. Розроблено та досліджено інтегральний метод ідентифікації стаціонарних та нестационарних ВП 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 стійких чисельних алгоритмів розрахунку параметрів динамічних моделей ВП. Запропоновано спосіб ідентифікації нестационарних ВП на основі рішення алгебраїчної системи. Показано, що методи степеневих рядів в задачі ідентифікації ВП є високопродуктивним підходом, оскільки дозволяє уніфікувати елементи математичної моделі і отримати на цій основі ефективні розрахункові вирази.

У п'ятому розділі присвячено розробці методу і алгоритмів відновлення сигналу на вході вимірювального перетворювача. Показана можливість відновлення сигналу за допомогою обробки вихідного сигналу на основі розв'язання оберненої задачі для рівняння Вольтерри I роду з орієнтацією на задачу динамічної корекції ВП. Розроблено методи та алгоритми чисельної реалізації інтегральних моделей в задачах відновлення сигналів ВП. Запропоновано спосіб внутрішньої регуляризації 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, а також спосіб забезпечення стійкості розв'язання задачі обчислювального відновлення сигналу неідеального ВП.

У шостому розділі розроблено комплекс програм розв'язання прямих та обернених задач моделювання вимірювальних перетворювачів на основі інтегральних рівнянь, розв'язання модельних і прикладних задач, проведення експериментальних досліджень. Розв'язано прямі та обернені задачі моделювання ВП, отримано розв'язки модельних та прикладних задач, досліджено динаміку та формування моделей ВП.

Таким чином, Ситник О.О., провівши сукупність наукових досліджень, спираючись на сучасні методи досліджень і технічні засоби, досяг поставлену мету – підвищення ефективності методів і засобів математичного моделювання динамічних процесів у вимірювальних перетворювачах на основі застосування динамічних моделей у вигляді інтегральних рівнянь і операторів Вольтерри, створення алгоритмічних основ і програмних засобів їх комп'ютерної реалізації.

Ступінь обгрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна.

В дисертації Ситник О.О. отримав такі основні результати, які мають **наукову новизну**. Вона полягає в створенні наукових та науково-прикладних основ створення і розвитку математичного і комп'ютерного моделювання динаміки сучасних вимірювальних перетворювачів на основі динамічних моделей з залученням інтегральних операторів і рівнянь типу Вольтерри

Зокрема:

- розроблено аналітичний метод «розщеплення з частковим оберненням» для заданих диференціальних рівнянь, що описують вимірювальні перетворювачі з зосередженими параметрами;

- запропоновано метод формування інтегральних динамічних моделей нестационарних вимірювальних перетворювачів із зосередженими та розподіленими параметрами;

- розроблено прямий метод ідентифікації інтегральних динамічних моделей вимірювальних перетворювачів на основі експериментальних даних;

- розроблено метод «внутрішньої регуляризації» для розв'язання слабосингулярного інтегрального рівняння Вольтерри I роду в задачі відновлення вхідного сигналу вимірювального перетворювача;

– вдосконалено та розвинуто методи прямого чисельного розв’язання лінійних і нелінійних інтегральних рівнянь вимірювальних перетворювачів на основі сепарабельного представлення ядер, методи ітераційного чисельного розв’язання нелінійних інтегральних рівнянь, структурно-алгоритмічний метод організації засобів комп’ютерного моделювання стосовно задач дослідження основних типів вимірювальних перетворювачів, 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, метод формування одновимірних інтегральних моделей вимірювальних перетворювачів із розподіленими параметрами на основі динамічних характеристик.

Положення і висновки відносно суті проблеми, принципів і методів побудови математичних моделей обґрунтовані в роботі і базуються на принципах системного аналізу та теорії математичного моделювання. Висновки по розділах і по роботі в цілому відповідають змісту дисертації і є об’єктивними. Можна стверджувати, що приведені в дисертаційній роботі Ситника О.О. висновки і рекомендації щодо використання результатів досліджень **достатньо обґрунтовані** і відповідають дійсності. **Достовірність** їх забезпечена коректністю використання математичного апарату та наукових положень.

Основні результати дослідження **достатньо апробовані**. Вони доповідались на багатьох науково-технічних конференціях і опубліковані в 75 публікаціях, в тому числі: монографії, 37 публікації у наукових фахових виданнях, з яких 1 – у виданнях, що входять до наукометричних баз даних Scopus, 8 – у наукових періодичних виданнях інших держав, 25 – в інших науково-технічних виданнях. Аналіз публікацій дозволяє зробити висновок, що в них у повному об’ємі представлені матеріали дисертації. Одноосібні публікації становлять 10 статей, 9 публікацій – англійською мовою. Автореферат дисертації відображає її зміст, ідеї і висновки. У авторефераті розкритий внесок дисертанта в даний науковий напрям, розкриті новизна розробок, теоретичні і практичні значення результатів проведених досліджень.

Значення отриманих результатів для теорії і практики.

Практичне і теоретичне значення отриманих результатів визначається тим, що на підставі виконаних автором досліджень розроблено методи та моделі, які забезпечують якісне відтворення властивостей, характеристик і параметрів широкого класу вимірювальних перетворювачів. Створено засоби алгоритмічного і програмного забезпечення процесів моделювання динаміки ВП з використанням структурно-орієнтованого підходу. Розроблено комп’ютерні моделі найбільш широко застосовуваних на практиці видів ВП: тиску, швидкості потоку, кута повороту, вологості газу, температури, витрат, прискорення та ін.

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

Зауваження

1. У вступі дисертаційної роботи згадується ефект Гіббса, але в самій роботі це питання детально не розглянуто.

2. В розділі 1 приводиться схема класифікації вимірювальних перетворювачів, з якої не зовсім зрозуміло чи автором розглядаються будь-які вимірювальні перетворювачі, чи тільки первинні.

3. В першому розділі дисертації, виклад матеріалу подається занадто детально і, як наслідок, розділ дещо перевантажений текстовою інформацією.

4. Не зрозуміло, чому дисертант, при підтвердженні своїх теоретичних результатів, не використовував параметри реальних датчиків та вимірювальних перетворювачів для розв'язання конкретних задач.

5. Пропонуючи динамічні моделі вимірювальних перетворювачів, автор залишив поза увагою поняття «невизначеності», яке пов'язане з теоретичними принципами роботи вимірювальних перетворювачів.

6. Аналіз існуючих методів розв'язання задач моделювання динаміки вимірювальних перетворювачів дисертантом, проведений хоч і з використанням багатьох прикладів, але не зовсім в повній мірі.

7. В розділі 3, при переході від інтегральної динамічної моделі до дискретної, не повністю враховані похибки цього переходу, тобто не вказані умови даного переходу, та обмеження які при цьому накладаються. Незрозуміло, яким чином «шум квантування» впливає на алгоритми аналізу вимірювального перетворювача на основі інтегральної динамічної моделі.

8. При дослідженні вимірювальних перетворювачів в задачах ідентифікації (розділ 4) недостатньо приділяється уваги нелінійним процесам, які мають місце в таких випадках.

9. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У роботі зустрічаються граматичні помилки, стилістичні неточності і описки, але кількість їх допустима.

Проте зазначені зауваження не є принциповими і такими, що піддають сумніву результати досліджень. Вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Ситника О.О.

Висновок

Дисертація Ситника Олександра Олексійовича є завершеною працею, в якій вирішена науково-технічна проблема створення і розвитку математичного і комп'ютерного моделювання динаміки широкого класу сучасних вимірювальних перетворювачів на основі динамічних моделей з залученням інтегральних операторів і рівнянь типу Вольтерри. Дисертаційна робота за актуальністю теми, обґрунтованістю та достовірністю наукових

положень, новизною досліджень і практичною цінністю отриманих результатів відповідає пп. 9, 10, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р., №656) і вирішує важливу наукову проблему – забезпечення процесів комп’ютерного моделювання та побудови програмних засобів, які відтворюють динамічні процеси стосовно досліджуваних технічних об’єктів. Дисертація відповідає спеціальності 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи, а її автор, Ситник Олександр Олексійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук.

Завідувач кафедри електричних станцій та систем
Вінницького національного технічного університету
Міністерства освіти і науки України,
доктор технічних наук, професор



П. Д. Лежнюк

