

ВІДГУК  
офіційного опонента  
на дисертацію **Верлани Дмитра Анатолійовича**  
"Методи та засоби чисельної реалізації інтегральних моделей динамічних  
об'єктів на основі розщеплення ядер",  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні  
методи

*Актуальність теми дисертаційної роботи*

Інтенсивний розвиток комп'ютеризованих засобів управління та обробки інформації в сучасних технічних системах потребує значного удосконалення методів та засобів математичного і комп'ютерного моделювання відповідних процесів. Обраний науково-технічний напрямок представлений в задачах динаміки технічних об'єктів і систем, причому на всіх етапах їх життєвого циклу – при проектуванні, створенні та експлуатації. Ефективність розв'язання проблем моделювання безпосередньо визначає якість технічних засобів вказаного класу. Зусилля автора спрямовані на застосування непараметричних динамічних моделей у вигляді інтегральних рівнянь типу Вольтерри і Фредгольма. Властивості цього виду моделей дозволяють при ефективній чисельній реалізації подолати ряд труднощів моделювання задач динаміки, таких, зокрема, як охоплення широкого класу динамічних об'єктів (об'єкти з зосередженими і розподіленими параметрами, як стаціонарні, так і нестаціонарні) з забезпеченням необхідної точності процесів моделювання при урахуванні обмежених обчислювальних ресурсів.

Таким чином тема дисертації, що розглядається, є актуальною, а також перспективною.

*Наукова новизна одержаних результатів*

Оцінюючи найважливіші здобутки дисертаційного дослідження, варто вказати на наступні результати, що мають вагому наукову новизну.

1. Заслугує наукової уваги застосований автором принципний підхід до розвитку методів і засобів моделювання динамічних об'єктів у вигляді основних видів скалярних лінійних і нелінійних інтегральних рівнянь.

2. Суттєвим внеском в розвиток чисельних методів наближення функцій і розв'язання інтегральних рівнянь є запропоновані оптимізаційні алгоритми наближення ядер рівнянь у вигляді функцій двох змінних, з поточковим визначенням одновимірних пар множників, що утворюють економічний апроксимуючий білінійний ряд.

3. Важливе місце серед отриманих наукових результатів займає запропоноване удосконалення методу вироджених ядер на основі вказаного вище способу наближення ядер шляхом їх розщеплення.

4. Важливий науковий результат складають отримані рекурентні алгоритми реалізації інтегральних динамічних моделей у вигляді рівнянь Вольтерри, які завдяки застосуванню удосконаленого методу вироджених

*ІТМ Е Вх 105*  
23.06.2016

ядер забезпечують високу швидкість процесу обчислень; цей ефект досягнутий при розв'язанні як рівнянь другого роду, так і некоректних рівнянь першого роду, зокрема для лінійного і нелінійного випадків.

5. Суттєво також, що зменшення обсягів обчислень на основі розщеплення ядер дозволило розробити малозатратні квадратурні алгоритми розв'язання інтегральних рівнянь Фредгольма; при цьому даний підхід забезпечив ефективне обчислення резольвенти лінійних рівнянь довільного вигляду і отримання на цій основі інтегральних моделей явного вигляду, що відповідає введенню в широку практику резольвентного методу розв'язання інтегральних рівнянь.

Вважаємо, що елементи наукової новизни сформульовані коректно, їх кількість та кваліфікаційні ознаки відповідають нормативним вимогам.

*Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації*

Застосовані підходи і методи до вирішення науково-технічної задачі розвитку методів і засобів комп'ютерного моделювання динамічних об'єктів з використанням непараметричних (інтегральних) моделей відзначаються фундаментальністю і ґрунтовністю дослідження. Варто відзначити чітку структурованість роботи, логічність викладу, якісне подання процесу і результатів наукових розробок, вдале використання обраних методів досліджень, потужну емпіричну базу, ґрунтовний аналіз публікацій за темою роботи.

*Оцінка змісту та завершеності дисертації*

У вступі чітко обґрунтовано актуальність проблеми, коректно сформульовано мету, яка відповідає темі та конкретизується у завданнях, логічно окреслені об'єкт та предмет роботи, а також система використаних в роботі дослідницьких методів.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячений аналізу стану проблеми моделювання динамічних об'єктів та вимог до відповідних моделей і засобів їх комп'ютерної реалізації, властивостей інтегральних моделей і чисельних методів їх розв'язання. В розділі розкриті особливості методу вироджених ядер, пов'язані з необхідністю застосування методів апроксимації функцій двох змінних комбінацією функцій однієї змінної, відзначені значні можливості даного методу при певному його удосконаленні. Підтверджується актуальність задачі, що поставлена в роботі.

У другому розділі роботи розглядається задача побудови ефективних алгоритмів приведення ядер інтегральних рівнянь до виродженого вигляду. На основі аналізу існуючих підходів до багатовимірної апроксимації функцій, а також найбільш поширених в практиці методів поліноміального наближення функцій двох змінних запропоновані нові алгоритми, засновані на підході до розщеплення функцій декількох змінних. Суть отриманих алгоритмів, досліджених теоретично та експериментально, зводиться до ітераційного процесу побудови білінійного ряду, на кожному кроці якого

розв'язується оптимізаційна задача поточної побудови одновимірних функцій координатного типу. Завдяки цьому досягається мінімальна складність апроксимуючого виразу, що підтверджується шляхом порівняння з результатами інших методів. Така методика в сукупності з операціями методу вироджених ядер представляє собою ефективне удосконалення методу і є основою його широкого практичного використання.

Третій розділ присвячений використанню удосконаленого методу вироджених ядер для чисельної реалізації інтегральних динамічних моделей у вигляді рівнянь типу Вольтерри. Розроблені при цьому рекурентні алгоритми вигідно відрізняються від традиційних квадратурних алгоритмів зменшеною кількістю обчислювальних операцій на кожному кроці дискретизації, тобто мають кращі ресурсозатратні показники. Крім того, новий підхід забезпечив можливість ефективної побудови і практичного використання резольвенти інтегрального рівняння, що визначає собою розробку нових резольвентних алгоритмів отримання числових розв'язків.

У четвертому розділі розроблюються алгоритми розв'язання рівнянь типу Фредгольма на основі удосконалення методу вироджених ядер. Отримані алгоритми забезпечують значне зменшення складності і кількості обчислювальних операцій процесу розв'язування у порівнянні з традиційними квадратурними алгоритмами. Розроблена методика охоплює рівняння Фредгольма I роду (у регуляризованому вигляді), а також деякі типи нелінійних рівнянь. Слід також відмітити, що досягнута модифікація обчислення резольвенти дозволяє розробити ефективні алгоритми резольвентного методу, що значно розширює можливості побудови альтернативних алгоритмів і програмних засобів для реалізації інтегральних моделей.

П'ятий розділ присвячений розробці програмних засобів у вигляді комплексу програм у середовищі MATLAB, який призначений для апробації запропонованих алгоритмів. Комплекс включає засоби для порівняння розроблених і існуючих алгоритмів, забезпечує виконання різнопланових експериментів, дозволяє розробляти програми для зовнішнього застосування та розв'язання практичних задач.

Завершується робота досить розгорнутими висновками, які впливають зі змісту роботи, є логічними, слугують віддзеркаленням основних результатів дисертаційної роботи.

Виходячи з аналізу основної частини дисертації, можемо дійти висновку, що мета дисертаційної роботи в ході виконання дослідження була досягнута, а дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною працею.

*Значення одержаних результатів для науки й практики та  
рекомендації щодо їх можливого використання*

Результати дисертаційного дослідження характеризуються теоретичною та практичною значущістю. Вони можуть бути використані в дослідницьких і проектних організаціях при розробці і проектуванні

сучасних комп'ютеризованих систем керування і спостереження шляхом використання моделюючих засобів у прямих і обернених задачах динаміки, при розробці вбудованих обчислювальних засобів формування і відпрацювання керуючих сигналів, при обробці інформації для відновлення вхідних сигналів систем вимірювання і контролю та ін., а також у навчальному процесі при вивченні чисельних методів, при вивченні широкого кола вказаних вище технічних систем, які можуть бути віднесені до класу динамічних систем.

*Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій  
дисертації в опублікованих працях*

Основні положення і результати дисертаційного дослідження опубліковані в 21 науковій роботі, з яких: 12 наукових статей надруковані у виданнях, що входять до переліку фахових видань, одна з яких входить до міжнародних науко-метричних баз (Index Copernicus), одна – до бази даних американського Інституту наукової інформатики Томсона (ISI) та до реферативної бази даних Scopus; 1 навчальний посібник; 8 робіт опубліковані в матеріалах всеукраїнських та міжнародних конференцій.

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам ДАК України і "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" та повністю висвітлюють основні наукові положення дисертації.

*Відповідність змісту автореферату основним  
положенням дисертації*

За структурою та змістом автореферат відповідає вимогам, що ставляться МОН України. У тексті автореферату відображено основні положення, зміст, результати і висновки здійсненого дисертаційного дослідження. Зміст автореферату та основні положення дисертації є ідентичними.

*Зауваження та деякі дискусійні положення*

Позитивно оцінюючи здобутки автора дисертації, можна також висловити деякі зауваження та дискусійні положення.

1. Не викликає ніякого сумніву наукова цінність запропонованих алгоритмів розщеплення ядра, але можна відмітити, що при їх описі не з'ясовуються питання про вибір початкового наближення для координатної функції  $\beta(s)$ , з якої починається процес пошуку.

2. В роботі отримані розрахункові співвідношення для застосування запропонованого методу при наближенні функцій трьох змінних, що вказує на можливість перспективного розвитку запропонованого підходу, але при цьому не вказується наскільки підвищується обчислювальна складність його практичної реалізації.

3. Важливою інновацією в галузі чисельного розв'язання інтегральних рівнянь є запропоноване використання резольвенти і виродженої резольвенти. На жаль в роботі метод описаний дуже коротко, хоча він заслуговує додаткового дослідження.

4. При наявності великого експериментального матеріалу в роботі все ж недостатньо розглянуті питання вибору кроку дискретизації при реалізації алгоритмів розв'язання інтегральних рівнянь. Варто було б додати деякі рекомендації з цього приводу, які, зокрема, безпосередньо пов'язані з відображеними в роботі розв'язаними прикладами і задачами.

5. В роботі вказано на можливість використання методу вироджених ядер для аналітичних перетворень інтегральних моделей до диференціальних моделей, наводяться приклади, в тому числі для нелінійного випадку. Цей напрямок в моделюванні є теж важливим, тому бажано було б спробувати отримати деяке узагальнення цього підходу.

Загалом, висловлені зауваження не ставлять під сумнів позитивну оцінку отриманих наукових результатів та можуть бути враховані у подальшій науковій роботі дисертанта.

#### *Загальний висновок*

Представлена дисертація є завершеною, самостійно підготовленою кваліфікаційною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані та практично цінні результати, що вирішують важливу науково-технічну задачу. Таким чином дисертаційна робота на тему "Методи та засоби чисельної реалізації інтегральних моделей динамічних об'єктів на основі розщеплення ядер", що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12, 13, 14 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 року, а її автор – Верлань Дмитро Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Офіційний опонент:  
професор кафедри вищої математики  
та інформаційних технологій  
Черкаського навчально-наукового інституту  
ДВНЗ «Університет банківської справи»  
д.т.н., професор



Засядько А.А.

Т.в.о. директора  
Черкаського навчально-наукового інституту  
ДВНЗ «Університет банківської справи»



Ткаченко Н.В.