

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Верланя А.А. «Адаптаційні методи та засоби математичного моделювання процесів функціонування комп'ютерно-інтегрованих систем (стосовно до силових енергетичних установок)», яку подано на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 - математичне моделювання та обчислювальні методи.

1. Актуальність наукового дослідження та зв'язок її з науковими програмами, планами і темами

Розвиток такої важливої частини енергетики, як силові енергетичні установки (СЕУ) пов'язаний з подальшою комп'ютеризацією і розвитком теорії та практики побудови та застосування комп'ютерно-інтегрованих систем.

Велика різноманітність видів СЕУ за їх призначенням та різноманіття умов експлуатації і показників відповідальності свідчить про велику кількість можливих практичних задач, а також наукових постановок задач моделювання і забезпечення умов функціонування комп'ютерно-інтегрованих систем.

Вказані обставини, широке застосування комп'ютерно-інтегрованих систем (автономна енергетика, авіа-космічна галузь, транспорт, масовий побут, тощо), а також висока складність задач їх побудови та модернізації свідчать про актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота виконана в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України в рамках науково-дослідних робіт: «Структурно-алгоритмические методы и средства компьютерного моделирования сложных энергетических объектов с распределенными и переменными параметрами», № держреєстрації 0101U000024; «Математическое и компьютерное моделирование неоднородных динамических систем с сингулярными свойствами применительно к задачам управления и экологической безопасности в энергетике», № держреєстрації 0106U000622; «Математические методы и компьютерные средства повышения разрешающей

способности систем технологического контроля и управления энергогенерирующего оборудования», № держреєстрації 0103U000218; «Створення методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання динамічних процесів в автономних енергетичних силових установках при побудові сучасних систем керування, діагностики і випробування» (шифр "Модус"), № держреєстрації 0111U007792; «Створення методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання процесів інверсної обробки сигналів у вимірвальних каналах систем моніторингу енергетичних об'єктів» (шифр "Інверсія"), № держреєстрації 0114U003949.

2. Наукова новизна положень дисертаційної роботи

Відповідно до проблеми, що вирішується в даній роботі, а саме *«створення адаптаційних методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання процесів функціонування комп'ютерно – інтегрованих систем для дослідження і забезпечення якісних показників, ефективного розв'язання задач аналізу, синтезу та побудови засобів керування і діагностики з урахуванням обмежень до інформаційних ресурсів»* отримано наступні наукові результати.

Розвинуто: новий підхід до визначення алгоритмів чисельної реалізації динамічних моделей у вигляді звичайних диференціальних рівнянь на основі запропонованих критеріїв оптимальності обчислювальних схем, що відповідають заданим вимогам щодо швидкодії засобів комп'ютерної реалізації та точності результатів обчислень; методологію побудови швидкодіючих квадратурних алгоритмів чисельної реалізації інтегральних динамічних моделей у вигляді рівнянь Вольтерра II роду на основі застосування резольвенти, що забезпечують можливість реалізації явних інтегральних динамічних макромоделей; резольвентний чисельний метод розв'язання інтегральних рівнянь, який дозволяє при апроксимації дискретних залежностей отримувати явні моделі у аналітичній формі.

Удосконалено відомі підходи і побудовано методи та моделі на їх основі: підхід до вибору або створенню математичного описання об'єкта моделювання на основі альтернативності задіяних форм динамічних моделей, що забезпечує адаптаційні можливості побудови необхідної моделі за принципом «складність – якість»; підхід до організації систем керування технічними об'єктами із застосуванням еталонної динамічної моделі, згідно з яким запропоновані параметричний, сигнальний та комбінований способи настроювання керуючого блоку у зворотному зв'язку системи, а також новий метод побудови керуючого каналу зворотного зв'язку з використанням еталонної моделі об'єкта керування, що формує керуючий вплив за принципом неперервного відслідковування поведінки моделі без застосування оптимізаційних обчислень; підхід до математичного моделювання процесів функціонування комп'ютерно-інтегрованих систем на основі застосування одновимірних непараметричних інтегральних динамічних моделей у вигляді операторів і рівнянь типу Вольтерра, які можуть бути побудовані як шляхом аналітичних перетворень, так і за експериментальними даними та забезпечують можливість моделювання об'єктів з зосередженими і розподіленими параметрами.

Запропоновано нові методи: метод еквівалентного перетворення диференціальних динамічних моделей до інтегральних (метод розділення з аналітичним розв'язком), який узагальнює відомі методи та дозволяє отримувати не тільки еквівалентні інтегральні рівняння, але низку $(n-1, n - \text{порядок рівняння})$ еквівалентних моделей у вигляді інтегро-диференціальних рівнянь, що значно підвищує ефективність його практичного застосування; метод опорних перерізів апроксимаційного перетворення за інтерполяційним принципом моделей об'єктів з розподіленими параметрами у вигляді диференціальних рівнянь з частинними похідними до скалярних моделей у вигляді систем звичайних диференціальних рівнянь, розмір яких дорівнює кількості обраних опорних перерізів, що дозволяє отримати наближену модель із значно меншою складністю, ніж у випадку вихідної

моделі та забезпечити суттєве зменшення вимог до швидкодії комп'ютерних засобів при реалізації моделей; метод діагностування неперервних систем за принципом виявлення наявності, місця і виду несправності шляхом побудови (ідентифікації) моделі поточного стану несправного фрагменту системи і порівняння значень її параметрів з їх номінальними значеннями.

3. Структура дисертаційної роботи

Робота складається із анотації, вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел (234 найменування) та 6-ти додатків. Загальний обсяг дисертації складає 467 сторінок, в тому числі 293 сторінки основного тексту, включаючи 20 таблиць та 44 рисунки; обсяг додатків складає 130 сторінок. У додатках містяться результати розв'язання практичних задач, а також акти впровадження.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, сформульованих у дисертації забезпечується повноцінним обґрунтуванням актуальності теми роботи, чітко сформульованої науково-технічної проблеми та завдань, а також підходів до їх розв'язання. В роботі системно використовується метод обчислювальних експериментів, завдяки якому отримано підтвердження адекватності положень і наукових результатів роботи.

Всі основні результати роботи пройшли широку апробацію шляхом значної кількості публікацій та участі у багатьох наукових конференціях.

Достатня обґрунтованість підтверджується також розв'язанням не тільки модельних прикладів, але і ряду прикладних задач, про що свідчать відповідні акти впровадження.

Таким чином, слід визнати, що наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані у дисертації, достатньо обґрунтовані.

5. Практична значимість результатів роботи

Отримані методи та алгоритми моделювання і розроблені програмні засоби складають повноцінні науково і практично обґрунтовані інженерні методики та

дозволяють досліджувати і будувати широкий клас комп'ютерно-інтегрованих систем.

В роботі вирішено наступні прикладні задачі, що представлені у додатках: «Побудова спрощених математичних моделей при дослідженні силової установки з газовим приводом і системою керування» (додаток А); «Комп'ютерне моделювання бурильної колони бурової установки» (додаток Б); «Моделювання електромагнітних процесів та енергетично ефективних режимів роботи надпровідникових СЕУ» (додаток В); «Точностна параметрична редукція моделі динаміки літака» (додаток Г); «Розробка спрощеної математичної моделі газотурбінного двигуна за каналом подачі палива» (додаток Д). Основні результати роботи та основні положення, які виносяться на захист, пройшли апробацію при розв'язанні модельних і практичних задач.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень, а також розроблені методи знайшли практичне використання та впровадження (акти впровадження наведено у додатку Е) у Науково-виробничому ТОВ «Прайм енерджи 2019», ТОВ «Мікросистеми експрес телеком», Науково-виробничому ТОВ "Інфотех", ТОВ «Оліс», а також впроваджені у навчальний процес Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Одеського національного політехнічного університету.

Таким чином, результати роботи мають високу практичну значимість.

6. Повнота викладу отриманих результатів у наукових виданнях

Отримані результати повністю викладені у 93-х публікаціях автора, серед яких є монографія.

7. Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Результати дисертаційної роботи доцільно використовувати у наукових і інженерних розробках при розв'язанні задач синтезу, проектування та раціональної експлуатації комп'ютерно-інтегрованих систем, перш за все тих, які мають ресурсні обмеження. Крім того, запропоновані моделі та програми можна

рекомендувати для застосування в навчальному процесі при викладанні ряду дисциплін, що включають питання математичного моделювання динамічних систем, зокрема систем керування і діагностики, що будуються на базі моделі об'єкта керування (чи діагностування).

8. Оформлення дисертації та автореферату

Дисертація і автореферат оформлені згідно із діючими правилами і рекомендаціями. Автореферат з необхідною повнотою відображає зміст дисертації.

9. Зауваження по дисертації та автореферату

- Запропонований в розділі 2 метод еквівалентного перетворення диференціальних рівнянь в інтегральні дозволяє також отримати еквівалентні інтегро-диференціальні рівняння, однак далі в роботі цей клас інтегро-диференціальних рівнянь не застосовується.
- Запропонований у розділі 4 метод опорних перерізів для отримання спрощених динамічних моделей ОРП розглядається тільки на прикладі задачі теплопровідності. Чи можна на основі цього говорити, що він підходить і для інших завдань?
- При формулюванні проблеми, що вирішується в дисертації, при обґрунтуванні актуальності мова йде про технічні комп'ютерно-інтегровані системи стосовно енергетики. Таке розуміння є штучним обмеженням сфери застосування отриманих результатів, оскільки більшість з них може бути віднесено і до інших областей - до медицини, космічних досліджень, вимірювальної техніки, техніки зв'язку, зокрема телефонної, тощо.
- В роботі зовсім не згадується сучасний підхід до побудови адаптивних систем на основі штучного інтелекту та нейронних мереж, як це узгоджується з класичними методами, що розглядаються в роботі.

- В мехатронних системах, що розглядаються в роботі, часто математичні моделі описуються системами жорстких диференціальних рівнянь, і такі питання зовсім не розглянуто в роботі.
- В роботі дуже важко відокремити відомі речі від того, що запропоновано здобувачем через те, що стилістично це не виділяється. Частково робота перевантажена оглядами відомих математичних моделей, особливо 2 (підрозділ 2.3) та 7 (підрозділ 7.1) розділи, а це допускається тільки у першому оглядовому розділі, а , з іншого боку, дуже цікавий та оригінальний матеріал з практичного застосування отриманих наукових результатів винесено в додатки, а логічно було б розмістити в основній частині роботи.
- Не заважили б теоретичні ,а не тільки модельні, оцінки похибок та збіжності алгоритмів. Більшої уваги, здається, потребують питання накопичення похибок та обмеження глобальних похибок на наступних кроках обчислень.
- Для адаптивних систем важливим стає поняття стійкості- воно в роботі розглянуто дуже стисло.
- Є певна кількість стилістичних , термінологічних (в роботі зустрічається не зовсім коректне використання термінів, наприклад, затухання на ст.53 - загасання, диференційні на ст. 64 та ст.232 - диференціальні) та орфографічних помилок (наприклад, пропущені дужки на ст.50 в останньому абзаці...), але їх порівняно небагато для такої об'ємної роботи.

10. Висновок про відповідність дисертації паспорту спеціальності і чинним вимогам

Вказані вище зауваження не є принциповими і суттєво не впливають на загальний позитивний висновок по дисертаційній роботі.

Таким чином, дисертація Верланя А.А. «Адаптаційні методи та засоби математичного моделювання процесів функціонування комп'ютерно-інтегрованих систем (стосовно до силових енергетичних установок)» є завершеним дослідженням, в якому вирішена важлива науково-технічна

проблема створення методів і засобів моделювання процесів функціонування комп'ютерно-інтегрованих систем (стосовно до силових енергетичних установок). В роботі отримані нові наукові результати, які є суттєвим внеском в розвиток математичного моделювання. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи (технічні науки). Автор дисертації Верлань А.А. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

чл.-кор. НАПН України,

доктор технічних наук, професор

завідувач кафедри автоматизації та

інтелектуальних інформаційних технологій

Вінницького національного технічного

університету МОН України..........Р.Н. Кветний

