67-72-72/2
21.06.2018р.

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора ***Гребенніка Ігора Валерійовича*** на дисертаційну роботу **Олійник Ірини Степанівни** на тему: **«Ідентифікація параметрів інтервальних моделей статичних систем методами оптимального планування насичених експериментів»**, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації.

Одним з найбільш ефективних інструментів синтезу та аналізу систем різного призначення є моделювання. За певних умов такі системи можна розглядати як безінерційні (статичні). При цьому значного розвитку набули методи інтервального моделювання таких систем, де невизначеність описується заданим інтервалом похибок. Для побудови математичних моделей статичних систем необхідно провести структурну та параметричну ідентифікацію. У роботі розглянуто задачу параметричної ідентифікації математичних моделей статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, розв'язок якої отримують через розв'язування інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь (ІСЛАР). Відомо, що розв'язок цієї задачі отримують у вигляді многогранної області у просторі параметрів, що забезпечує множинне представлення кожного із шуканих значень параметрів інтервальної моделі статичної системи. Існуючі методи розв'язування задачі параметричної ідентифікації математичних моделей статичних систем на основі аналізу інтервальних даних, які базуються на задачах лінійного програмування та еліпсоїдних оцінках, характеризуються надзвичайно високою обчислювальною складністю. Необхідно створити нові методи оцінювання множини значень параметрів, які забезпечують зниження обчислювальної складності методів параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з гарантованими прогностичними властивостями.

Тому тема, мета та поставлені задачі дисертації Олійник І.С., є **актуальними**.

Актуальність задачі, важливість та перспективність отриманих результатів підтверджується тим, що робота виконувалася відповідно до наукового напряму кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного економічного університету. Зокрема, в межах науково-дослідних робіт: «Математичне та програмне забезпечення для класифікації тканин хірургічної рани в процесі операції на органах шиї» (державний реєстраційний номер 0117U000410), «Теорія побудови та методи реалізації в реальному часі міждисциплінарних математичних моделей зміни стану складних об'єктів» (державний реєстраційний номер 0114U000569), «Математичне та програмне забезпечення для контролю забруднення атмосфери автотранспортом» (державний реєстраційний номер 0116U005507), «Математичне та програмне забезпечення складних систем в умовах структурної та параметричної невизначеностей» (державний реєстраційний номер 0117U000145), «Макромоделювання складних систем та процесів в умовах структурної невизначеності на основі неточних даних» (державний реєстраційний номер 0111U010356), «Методи та засоби математичного моделювання складних систем на основі теоретико-множинного та інтервального підходів» (державний реєстраційний номер 0106U012529).

Оцінка змісту дисертації, її завершеності.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків і за структурою та обсягом відповідає вимогам щодо кандидатських дисертацій з технічних наук.

У ***вступі*** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, визначені мета і задачі дослідження, сформульовано об'єкт і предмет, а також методи дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, надано інформацію про особистий внесок автора в роботи,

виконані у співавторстві, наданий перелік публікацій та відомості про апробацію за темою роботи.

У ***першому розділі*** наведено постановку задачі параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем. Проаналізовано методи ідентифікації параметрів інтервальних моделей статичних систем, визначено їх переваги та недоліки. Визначено, що основною обчислювальною задачею параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем є обчислення розв'язків інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь та, водночас, основною проблемою є складність форми представлення області розв'язку цієї системи. Для цих цілей використовують методи наближення області розв'язків: інтервальні, еліпсоїдні та з виділенням «насиченого» блоку інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь. Далі, у розділі наведено переваги та недоліки методу з виділенням «насиченого» блоку та визначено, що актуальною є задача вдосконалення методів параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем на основі створення нових методів локалізації із виділенням «насиченого» блоку інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь, з простішими обчислювальними схемами, націленими на оптимізацію прогностичних властивостей інтервальних моделей статичних систем. В останньому підрозділі сформульовано основні задачі дисертаційного дослідження.

У ***другому розділі*** запропоновано та описано метод еліпсоїдного оцінювання множини значень параметрів інтервальних моделей статичних систем на основі ітераційної обчислювальної схеми оптимального насиченого планування експерименту Наведено алгоритм реалізації та блок-схему методу оцінювання множини значень параметрів інтервальних моделей статичних систем на основі ітераційної обчислювальної схеми оптимального насиченого планування експерименту. Проведено дослідження збіжності методу оцінювання множини значень параметрів інтервальних моделей статичних систем із застосуванням обчислювальних експериментів, де встановлено, що незалежно від вибору початкових умов, обчислювальна процедура збігається до

одного розв'язку, якщо він є єдиним. За результатами, отриманими у другому розділі, запропоновано та обґрунтовано новий метод оптимального насиченого планування експериментів у випадку інтервального представлення вихідних змінних моделей статичних систем, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на ітераційній обчислювальній процедурі оптимізації прогностичних властивостей інтервальних моделей. На тестових прикладах доведено, що це забезпечило зниження обчислювальної складності процедур насиченого планування експериментів.

У ***третьому розділі*** вдосконалено метод параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем та внесено зміни в обчислювальну схему редукції інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь, які забезпечують отримання коректних розв'язків, або дають можливість встановити їх відсутність (у випадку несумісності інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь), наведено обчислювальну схему його реалізації. У розділі 3 також досліджено обчислювальну складність методу еліпсоїдного оцінювання множини значень параметрів інтервальних моделей статичних систем за схемою оптимального насиченого планування експерименту. Дослідження проводилося методами комп'ютерного моделювання на конкретних прикладах з одночасним порівнянням з відомими методами: повного перебору, випадкового пошуку з лінійною тактикою та випадкового пошуку по найкращій спробі. На тестових прикладах доведено, що застосування запропонованого методу забезпечило зниження обчислювальної складності у порівнянні з відомими методами оцінювання як мінімум у 4 рази. Також, методами комп'ютерного моделювання досліджено обчислювальну складність удосконаленого методу параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем на основі процедури редукції інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь. Встановлено, що поєднання удосконаленої процедури редукції інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь та методу еліпсоїдного оцінювання множини значень параметрів забезпечує зменшення кількості результативних ітерацій редукції і, відповідно, зниження обчислювальної складності методу в цілому.

У ***четвертому розділі*** розроблено та описано програмну систему для реалізації удосконаленого методу параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем, а також її апробацію для задачі параметричної ідентифікації інтервальної моделі характеристик малої гідроелектростанції та задачі моделювання взаємозв'язку між інтенсивністю транспортних потоків та забрудненням приземистого шару атмосфери діоксидом азоту.

У ***додатках*** наведено довідки про впровадження результатів дисертації.

Наукова новизна дисертаційної роботи

1. Вперше розроблено метод еліпсоїдного оцінювання множини значень параметрів інтервальних моделей статичних систем на основі ітераційної обчислювальної схеми оптимального насиченого планування експерименту, що забезпечило зниження обчислювальної складності у порівнянні із відомими методами оцінювання.

2. Вперше розроблено метод оптимального насиченого планування експериментів у випадку інтервального представлення вихідних змінних моделей статичних систем, який, на відміну від існуючих, ґрунтується на ітераційній обчислювальній процедурі оптимізації прогностичних властивостей інтервальних моделей; це забезпечило меншу обчислювальну складність його реалізації у порівнянні з відомими методами.

3. Удосконалено метод параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем, побудований на редукції інтервальної системи лінійних алгебричних рівнянь, у якому використано розроблений метод еліпсоїдного оцінювання множини значень параметрів. Це у сукупності забезпечило зниження обчислювальної складності методу параметричної ідентифікації.

4. У роботі набула подальшого розвитку система комп'ютерного моделювання статичних систем, що відрізняється структурною та алгоритмічною організацією програмної частини, за рахунок використання модулів ідентифікації параметрів моделей з гарантованими прогностичними властивостями, що розширило функціональні можливості зазначеної системи.

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

Обґрунтованість одержаних наукових результатів базується на використанні методів загальної теорії систем, методів теоретико-множинного підходу та аналізу інтервальних даних, застосуванні методів аналізу інтервальних даних при розробці методу оцінювання множини параметрів інтервальних моделей статичних систем із використанням обчислювальної схеми оптимального планування експериментів; використанні комп'ютерного моделювання для дослідження збіжності та обчислювальної складності методу та алгоритму ідентифікації параметрів; розв'язуванні інтервальних систем лінійних алгебричних рівнянь методами математичного програмування.

Наукове і практичне значення результатів

Наукова цінність роботи полягає у розв'язуванні задачі зниження обчислювальної складності методів параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем за рахунок створення нових методів еліпсоїдного оцінювання множини значень параметрів, з простішими обчислювальними схемами побудови такої множини. Практичне значення результатів полягає у тому, що на основі розробленого методу еліпсоїдного оцінювання множини параметрів інтервальних моделей статичних систем із використанням обчислювальної схеми оптимального насиченого планування експериментів створено систему комп'ютерного моделювання, придатну для моделювання статичних систем на основі аналізу інтервальних даних. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи використано у ТЗоВ «Тополь ки» та Тернопільському міському відділі державної установи «Тернопільський обласний лабораторний центр МОЗ України», що підтверджено актами про впровадження. Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі Тернопільського національного економічного університету при викладанні дисциплін «Моделювання та аналіз програмного забезпечення», «Архітектура та

проектування програмного забезпечення» та «Інтервальні обчислення».

Публікації та апробація результатів дисертаційної роботи

Основні результати відображених у дисертації досліджень опубліковано у 17 наукових працях, зокрема, 5 статей у виданнях, що входять до Переліку наукових фахових видань з технічних наук, одне з яких індексується міжнародною наукометричною базою Index Copernicus, 12 публікацій у матеріалах конференцій, 4 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

В опублікованих працях викладено в повному обсязі основні положення дисертаційної роботи, які винесено на захист. Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях є підтвердженим. Рівень та кількість публікацій, рівень апробації відповідають вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій в Україні.

Оформлення дисертації та автореферату

Автореферат дисертації достатньо інформативний, його зміст повністю відповідає змісту дисертаційної роботи. Дисертація та автореферат викладені логічно, послідовно та коректно. Оформлення автореферату та дисертації повністю відповідає вимогам, рекомендованим Міністерством освіти і науки України.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. В оглядовій частині роботи для кращого сприйняття її основних результатів доцільно був б представити основні положення інтервального аналізу (інтервальні арифметики, інтервальні відображення, інтервальні рівняння тощо), на які спираються досліджувальні в дисертаційній роботі проблеми.

2. Запропонований у другому розділі метод оцінювання значень параметрів інтервальних моделей статичних систем, який здійснює спрямований перебір «насичених» блоків, використовує аналіз порівняно невеликої по відношенню до повного перебору кількості «насичених» блоків. Доцільно було б оцінити втрати в оцінці максимальних похибок, які виникають при такому скороченні кількості аналізованих «насичених» блоків.

3. В третьому розділі при дослідженні обчислювальної складності методу оцінювання множини значень параметрів інтервальних моделей статичних систем було використано комп'ютерне моделювання на основі низки прикладів. Бажано було б в подальших дослідженнях оцінити обчислювальну складність зазначеного методу, виходячи з більш загальних міркувань із застосуванням аналогічних підходів.

4. У дисертаційній роботі доцільно було б детальніше розглянути властивості інтервальної моделі, побудованої на основі еліпсоїдних оцінок.

Зазначені зауваження та недоліки не є принциповими і суттєво не знижують загального позитивного враження від поданої роботи.

Загальна оцінка роботи і висновок

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що дисертація Олійник І.С. на тему «Ідентифікація параметрів інтервальних моделей статичних систем методами оптимального планування насичених експериментів» є завершеною науковою працею, у якій отримані нові наукові і практичні результати, що вирішують важливе науково-технічне завдання зниження обчислювальної складності методів параметричної ідентифікації інтервальних моделей статичних систем за рахунок створення нових методів еліпсоїдного оцінювання множини значень параметрів.

Дисертаційна робота здобувача за своїм рівнем, обсягом і якістю досліджень відповідає вимогам пунктів 9, 11, 12-14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.03.2013 №567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор Олійник Ірина Степанівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри системотехніки
Харківського національного
університету радіоелектроніки,
д.т.н., професор І. В. Гребеннік

Підпис проф. Гребенніка І.В. засвідчую.
Учений секретар ХНУРЕ І.В. Магдаліна
21.06.2018