

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Пасічника Романа Мирославовича** на тему «**Математичні моделі систем з лімітуючими факторами та методи їх ідентифікації**», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми.

Важливою проблемою математичного моделювання є подолання протиріччя між точністю прогнозування характеристик модельованих об'єктів та простотою застосування моделей у відповідних предметних галузях. Забезпечення достатньої для практики точності прогнозів повинно узгоджуватися із характером інформації, яка залучається для налаштування параметрів моделей, а самі моделі та методи їх ідентифікації повинні бути максимально універсальними, що дає можливість розроблювати узагальнені багатофункціональні універсальні програмно-алгоритмічні засоби та спрощує їх практичне застосування.

Розширення сфери застосування математичних моделей спричиняє надмірну їх спеціалізацію. Остання породжує велику кількість близьких по структурі та сферах застосування моделей та методів їх ідентифікації. На певному етапі освоєння нової предметної галузі побудова універсальних моделей та методів їх ідентифікації здатна забезпечити його значне прискорення та стимулювати використання напрацьованих засобів у суміжних галузях, що підвищує актуальність проблеми узагальнення процесу моделювання при забезпеченні достатньої точності моделей.

Останні роки відзначаються розробленням математичних моделей процесів, характерних для біологічних та соціальних систем. Високий рівень самоорганізації таких систем призводить до вирішального впливу на їх поведінку лише окремих лімітуючих факторів або невеликих їх множин. Моделі систем із лімітуючими факторами до недавнього часу, в основному, використовувалися лише для моделювання чисельності популяцій мікроорганізмів та елементів екологічних систем. В дослідженнях останніх років побудовано моделі для процесів у практично важливих медичних, біотехнологічних та Веб-інформаційних системах, однак вони є надмірно прив'язані до особливостей даних спостережень за перебігом окремих практично важливих процесів.

Таким чином, **вирішення науково-прикладної проблеми «відсутності узагальненої методології моделювання систем із лімітуючими факторами, яка б ґрунтувалася на створенні універсальних моделей та методів їх ідентифікації, відповідному прикладному інженерному інструментарії і забезпечували необхідну якість моделювання» безумовно актуальне.**

Основна ідея дисертаційного дослідження полягає в націленості на подолання суперечності між зростаючими вимогами щодо спрощення процесу

моделювання систем із лімітуючими факторами, та забезпеченням достатньої точності такого моделювання. Важливою перевагою запропонованих моделей та методів їх ідентифікації є наявність базових узагальнених моделей та узагальненого методу їх ідентифікації із побудовою відповідних модифікацій для окремих прикладних галузей.

Робота виконувалася відповідно до наукових напрямків кафедр комп'ютерних наук, економічної кібернетики та інформатики Тернопільського національного економічного університету. Автор був відповідальним виконавцем низки науково-дослідних робіт, результати яких знайшли впровадження на виробництві та в науково-дослідних установах України, що підтверджено актами про впровадження.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Основні наукові результати в дисертації обґрунтовані теоретично та підтверджені широким обсягом експериментальних результатів розв'язання низки прикладних задач.

Для теоретичного обґрунтування наукових положень та висновків дисертаційної роботи автором коректно застосовано методи: системного аналізу – для побудови і аналізу моделей систем з лімітуючими факторами; оптимізації – для пошуку мінімуму функціоналу якості ідентифікації; розв'язання жорстких систем диференціальних рівнянь – для побудови прогнозів характеристик систем із лімітуючими факторами з метою встановлених значень параметрів їх моделей; а також теорії динамічних систем – для формування методу ідентифікації окремого виду таких систем.

Отримані теоретичні результати не протирічать відомим результатам інших дослідників та розвивають та доповнюють їх, теоретичні результати мають високий ступінь збіжності з відповідними результатами комп'ютерного моделювання та результатами числових розрахунків, які зіставлялися з експериментальними даними. Результати впровадження теоретичних положень є достатніми для підтвердження наукових положень дисертаційної роботи.

В цілому наукові положення і висновки, сформульовані в дисертаційній роботі є обґрунтованими теоретично та підтверджені дослідним випробуванням, практичним впровадженням на підприємствах та в установах з метою підвищення ефективності їх ключових технологічних процесів.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність основних наукових положень і одержаних результатів обумовлена коректним використанням методів системного аналізу, оптимізації, розв'язання жорстких систем диференціальних рівнянь, теорії динамічних систем та підтверджується відповідністю результатів, отриманих з використанням розроблених моделей систем із лімітуючими факторами та методів їх ідентифікації, результатам експериментальних досліджень спостережень за перебігом конкретних процесів. Усі результати узгоджується з тими, що одержані при проведенні аналогічних досліджень і відомі з літературних джерел.

Наукова новизна одержаних результатів.

В роботі отримано низку важливих нових наукових результатів в напрямку розвитку методології та узагальнення теорії моделювання систем з лімітуючими факторами:

– запропоновано та обґрунтовано узагальнену модель системи із відокремленими лімітуючими факторами, яка відрізняється від існуючих врахуванням впливу підпорядкованих процесів, впливу відокремлених лімітуючих факторів на підпорядковані процеси, зміни базових рівнів активності системи, ефектом її інгібування продуктом системи, що у сукупності дало можливість сформуванню ядра математичних моделей розширеного класу систем з лімітуючими факторами;

– запропоновано та обґрунтовано узагальнену модель системи із зовнішнім лімітуючим навантаженням, яка на відміну від існуючих містить рівняння динаміки активності системи, враховує нелінійність реакції системи на прикладене навантаження та лінійний характер стабілізатора активності системи, що дало можливість сформуванню ядра математичних моделей з різнотипними навантаженнями на систему із лімітуючими факторами;

– розроблено узагальнений метод ідентифікації моделей систем із лімітуючим фактором, який відрізняється процедурою виділення базового рівня та вибору оптимальних значень лімітуючого параметра, різницевиими співвідношеннями для налаштування початкових значень інших параметрів моделі, процедурою уточнення початкових значень параметрів моделі на основі градієнтного методу, що у сукупності забезпечує теоретичне підґрунтя для створення інженерного інструментарію для ідентифікації математичних моделей систем з лімітуючими факторами різної природи;

– розроблено метод ідентифікації моделей систем із лімітуючою забезпеченістю для випадків відсутності спостережень динаміки активності або забезпеченості системи, який відрізняється процедурою формування різницевих співвідношень для налаштування початкових значень параметрів моделі, що забезпечує можливість застосування таких моделей для ширшого класу систем із лімітуючими факторами.

Отримано низку нових наукових результатів для певних класів систем, моделі яких можуть бути представлені у вигляді моделей систем з лімітуючими факторами:

– розроблено метод ідентифікації моделей систем із множиною відокремлених лімітуючих факторів для випадків відсутності спостережень динаміки активного середовища та субстрату, який відрізняється процедурами побудови двовимірної нерівномірної сітки для початкових наближень лімітуючого параметра та його уточнення на базовій множині пошуку, що дозволило ідентифікувати модель добової динаміки глікемії хворого на цукровий діабет.

– удосконалено та розвинуто модель хіміко-технологічного процесу броварного бродіння із застосуванням методу ідентифікації моделей із лімітуючим забезпеченням, що дало можливість спростити процедуру ідентифікації, уникнувши її багатоетапності, та підвищити точність математичної моделі;

– удосконалено модель динаміки відвідуваності Веб-сайтів із застосуванням єдиного методу ідентифікації моделей із лімітуючими факторами, що забезпечило створення спрощеного інструментарію для служб підтримки Веб-сайтів як для короткотермінового, так і для довготермінового прогнозування динаміки відвідуваності.

– удосконалено математичну модель реакції пацієнтів на фізичні навантаження різних етапів реабілітації після серцево-судинних захворювань введенням виразу для відображення нелінійної реакції організму на прикладені фізичні навантаження, а також застосуванням перемикача гальмування збурень характеристик системи при знятті фізичних навантажень, що дало можливість адекватно відобразити в єдиній моделі як неінтенсивні, так і субмаксимальні навантаження і тим самим спростити інструментарій прогнозування визначення допустимих навантажень та підвищити його точність.

Значущість отриманих результатів для науки і практичного використання полягає у розвитку теорії ідентифікації моделей систем із лімітуючими забезпеченнями та систем із лімітуючими навантаженнями, спрощені конфігурації яких адекватно описують ряд практично важливих процесів. Дослідження властивостей узагальнених моделей дозволили побудувати узагальнений метод їх ідентифікації, який слугує основою розробки групи методів ідентифікації моделей ряду практично важливих задач.

Практичне використання розроблених теоретичних положень забезпечується напрацьованим програмним інструментарієм, основні програмні модулі яких допускають широке використання в різних конкретних задачах для процесів різної природи, що знижує вартість виготовлення програмних засобів моделювання.

Практичне значення роботи. На основі отриманих теоретичних результатів та розроблених методів створено універсальні методики, алгоритмічне та програмне забезпечення, яке дає можливість прогнозування характеристик систем із лімітуючими факторами з підвищеною точністю:

1. Узагальнені моделі систем із лімітуючими факторами дають змогу будувати моделі для широкого класу прикладних задач із високою точністю як часткові випадки напрацьованих підходів.

2. Узагальнений метод ідентифікації моделей систем з лімітуючими параметрами закладає загальну основу розроблення методів ідентифікації окремих класів прикладних задач із можливістю врахування їх особливостей.

3. На основі узагальненої моделі систем із лімітуючим навантаженням розроблена модель процесів реабілітації після серцево-судинних захворювань із методом її ідентифікації придатні до використання на практиці для оцінювання рівня допустимих навантажень в процесі адаптації організму хворого після завершення медикаментозного періоду лікування;

4. Створено модифікацію узагальненого методу ідентифікації моделей систем із лімітуючими факторами для встановлення значень параметрів моделей броварного бродіння, в широких діапазонах змін параметрів його температурного управління. Розроблений метод забезпечує спрощення процесу ідентифікації, уникаючи його багатоетапності, водночас із підвищенням точності ідентифікованої моделі.

5. За допомогою узагальненої моделі систем із лімітуючою забезпеченістю розроблено модель відвідуваності Веб-сайтів та єдиний метод її ідентифікації, що дозволяє надійніше оцінювати ефективність зусиль із просування Веб-сайтів в глобальному інформаційному середовищі.

6. За допомогою узагальненого методу ідентифікації моделей систем із лімітуючими факторами розроблено метод ідентифікації моделі добової динаміки глікемії хворих на цукровий діабет із застосуванням мінімального обсягу вимірювань характеристик стану хворого, що забезпечує підтримання допустимих концентрацій глюкози за рахунок корекції режиму харчування та дозування ін'єкцій інсуліну при необхідних обсягах планованих фізичних навантажень.

7. Розроблене програмне середовище моделювання систем із лімітуючими факторами використано на підприємствах із виробництва програмного забезпечення та агропродукції у навчальних та медичних та закладах установах, що підтверджується відповідними актами.

Результати роботи використано в КЗ ТОВ «Тернопільська університетська лікарня» для моделювання добової динаміки глікемії хворих на цукровий діабет, ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет ім. І. Я. Горбачевського» для моделювання реакції пацієнтів на фізичні навантаження після серцево-судинних захворювань, ТОВ «Яваре» для моделювання динаміки відвідуваності Веб-сайтів, в ТЗОВ «Агрокомпанія «Дружба», а також в навчальному процесі Тернопільського національного економічного університету при викладанні дисциплін „Аналіз проектних вимог”, “Моделювання в управлінні соціально-економічними системами” та “Технологія проектування та адміністрування баз даних та сховищ даних”.

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах.

Основні наукові результати дисертації відображені в 48 публікаціях, 25 публікацій у фахових виданнях України, з яких 5 входять до переліку провідних міжнародних наукометричних баз, публікація у міжнародному науковому журналі, 22 статті у матеріалах наукових конференцій (18 публікацій дисертанта зареєстровано у наукометричній базі 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 докторських дисертацій в Україні.

Структура та зміст дисертації.

Дисертацію викладено на 255 сторінках. Робота складається зі вступу,

основного змісту, що включає шість розділів, висновків, списку використаних джерел з 255 найменувань та 4 додатків, представлених актів впровадження. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 306 сторінок.

У першому розділі на основі аналізу існуючих публікацій досліджено сучасний стан розвитку теорії та практики моделювання систем із лімітуючими факторами, виявлено основні особливості моделювання згаданих систем в окремих практичних задачах. Проаналізовано особливості побудови методів параметричної ідентифікації моделей систем із лімітуючими факторами, підходи до вибору функціоналу якості ідентифікації, застосування методів випадкового пошуку та градієнтних методів в мінімізації функціоналу якості ідентифікації. Проаналізовано спектр проблемних питань, які виникають при застосуванні моделей систем із лімітуючими факторами в біологічних та соціальних системах, визначено задачі, які вимагають вирішення та обґрунтовано підходи до вирішення цих задач.

У другому розділі побудовано узагальнену модель систем із лімітуючими забезпеченостями процесів. Модель синтезується на основі класичної моделі хіміко-технологічного процесу в реакторі із періодичним режимом завантаження. В подальшому в цю моделі вмонтовуються можливості врахування ефектів інгібування кінцевим продуктом, зміни базового рівня характеристики активності процесу а також зовнішнього нестационарного управління перебігом процесу. Надалі побудована модель зазнає узагальнення для врахування впливу множини відокремлених лімітуючи факторів на забезпеченість основного процесу системи.

Здійснено дослідження впливу параметрів моделі на поведінку змінних моделі у найпростішій її конфігурації. Встановлено ключовий вплив на згадані змінні лімітуючого параметра моделі. На основі даного спостереження сформовано структуру узагальненого методу ідентифікації моделей із лімітуючою забезпеченістю, який містить етапи побудови початкових значень коефіцієнтів моделі та її ідентифікації згідно середньоквадратичного критерію за допомогою градієнтного методу. Побудова початкових наближень передбачає формування наближених різницевої співвідношень між параметрами моделі, встановлення прийнятної порядку значень лімітуючого параметра за критерієм мінімуму похибки моделі на спостережених значеннях.

У третьому розділі розроблено методи ідентифікації моделі процесів з лімітуючим фактором за спостереженнями лише субстрату або змінної активного середовища, моделі із відокремленими лімітуючими факторами за спостереженнями загальної забезпеченості процесів системи. Розглянуто особливості багатоетапного методу ідентифікації, який зустрічається у задачах, що враховують вплив людського фактора.

Для моделей процесів з внутрішніми лімітуючими факторами із спостереженням змінної забезпеченості запропоновано метод ідентифікації, який базується на загальному методі ідентифікації моделей із внутрішнім лімітуючим фактором а також на співвідношеннях, які дозволяють оцінити значення неспостережуваних параметрів. Для моделей процесів з внутрішніми лімітуючими факторами із спостереженням змінної активності системи та

трансформацією її базового рівня запропоновано метод ідентифікації, який базується на загальному методі ідентифікації моделей із внутрішнім лімітуючим фактором а також на співвідношеннях, які дозволяють оцінити значення неспостережуваних параметрів. Метод розповсюджено на багатоетапну ідентифікацію моделей, що враховують вплив людського фактора.

Для моделей процесів із внутрішніми відокремленими лімітуючими факторами із спостереженням змінної загальної забезпеченості системи запропоновано багатоетапний метод ідентифікації, який базується на загальному методі ідентифікації моделей із внутрішнім лімітуючим фактором а також на спостереженнях, отриманих в ході здійснення послідовності експериментів, в кожному з яких додається вплив одного підпорядкованого процесу. На кожному із етапів ідентифікації для вибору початкових значень лімітуючих параметрів будуються спеціальні сітки їх значень із застосуванням процедури мінімізації максимальних відносних похибок моделі на експериментальних даних.

У четвертому розділі побудовано узагальнену модель систем із зовнішнім навантаженням, яке виконує роль лімітуючого фактора. В результаті використання теорії систем побудовано концептуальну модель процесів із зовнішнім лімітуючим фактором, що уможливило встановлення залежності між зовнішнім навантаженням та змінними активності для класу практично важливих процесів. В результаті експериментальних досліджень впливу параметрів моделей процесів з зовнішніми лімітуючими факторами на системні змінні виявлено основні засоби зміни динаміки останніх, що дозволило побудувати методи ідентифікації згаданих моделей.

Для моделей процесів з зовнішніми лімітуючими навантаженнями уточнено реалізацію узагальненого методу ідентифікації, який відрізняється різницею співвідношеннями для побудови початкових значень параметрів згаданої моделі.

У п'ятому розділі описано програмне середовище моделювання систем із лімітуючими факторами. За допомогою діаграм активностей базових процесів згаданого середовища побудовано діаграму варіантів використання, що дало змогу сформулювати вимоги до програмного продукту, який спрощує процес розробки програмних реалізацій математичних моделей систем із лімітуючими факторами в різних предметних галузях.

За допомогою діаграм послідовностей, що реалізують варіанти використання програмного середовища моделювання систем із лімітуючими факторами формалізовано основні його процеси для спрощення розробки програмної реалізації моделей. За допомогою діаграми класів спроектовано взаємозв'язок класів програмного середовища моделювання систем з лімітуючим фактором. Це дозволило спроектувати інформаційні ресурси програмного середовища та забезпечило акумуляцію набутого досвіду розробки програмних засобів моделювання. За допомогою схеми взаємозв'язку основних модулів середовища подано його основні реалізовані функціональні можливості та проаналізовано кратність використання розроблених програмних модулів.

У шостому розділі розроблені узагальнені моделі та методи їх

ідентифікації застосовано для розв'язання конкретних прикладних задач, що дозволяє використовувати їх як прототипи для побудови моделей в окремих предметних областях.

В результаті уточнення ролі лімітуючого фактора побудовано єдину модель реакції організму хворого на серцево-судинні захворювання в процесах неінтенсивних та субмаксимальних навантажень а також єдиний метод їх ідентифікації із використанням циклу по значеннях лімітуючого параметра в експериментально встановленому діапазоні. Це дозволило моделювати реакцію організму на дію зовнішнього навантаження на основі спільних теоретичних положень. За допомогою циклу по значеннях лімітуючого параметра побудовано метод ідентифікації автономних моделей хіміко-технологічних процесів, який на відміну від існуючих не вимагає багатоетапних уточнень параметрів моделі. Це дозволило спростити застосування методу ідентифікації при підвищенні його точності.

За допомогою розробленого підходу до багатоетапної ідентифікації та із використанням концепції комплексних тестів запропоновано модель успішності навчання а також метод її ідентифікації. Це дозволяє раціонально розподіляти зусилля при плануванні процесу освоєння навчального матеріалу (*я не є прихильником ускладнення підходів до автоматизації оцінювання знань, тому в відгуку майже не торкаюся цих результатів автора*). За допомогою циклу по значеннях лімітуючого параметра побудовано єдиний метод ідентифікації моделей відвідуваності Веб-сайтів, який на відміну від існуючих не вимагає врахування типів росту відвідуваностей а також допоміжних поліноміальних апроксимацій. Це дозволило підвищити надійність прогнозування росту відвідуваності. На основі поетапної процедури а також підходу до ідентифікації моделей процесів з лімітуючим фактором за допомогою спостереження системної змінної побудовано метод ідентифікації моделі добової глікемії хворих на цукровий діабет. Це дозволяє прогнозувати реакцію на вибрані режими харчування та вводу ін'єкцій інсуліну хворого.

У висновках сформульовано основні наукові результати і окреслено перспективу можливих подальших досліджень.

Автореферат відображає суть основних наукових положень, практичну значущість та висновки. Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності з вимогами, що ставляться до докторських дисертацій в Україні, хоча по тексту дисертації зустрічаються описки, невідповідність у посиланні на формули, стилістичні неточності.

Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень, на основі яких захищена кандидатська дисертація.

Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію "Чисельне розв'язання мішаної задачі Діріхле для хвильового рівняння методом інтегральних рівнянь" (1989 рік) за спеціальністю 01.01.07 – "обчислювальна математика", не використовуються як наукові результати докторської дисертації здобувача і не виносяться на її захист.

Зауваження до роботи:

1. Проблема, що сформульована дисертантом, дійсно існує і важлива, але реально, на наш погляд, її треба сформулювати так (тим більше, що у роботі зустрічаються різні формулювання автором цієї проблеми, наприклад, на ст. 11 та 21): *відсутність узагальненої методології моделювання систем із лімітуючими факторами, яка б ґрунтувалася на створенні універсальних моделей та методів їх ідентифікації, відповідному прикладному інженерному інструментарію і забезпечували необхідну якість моделювання.*
2. Дисертант і в меті, і по тексту роботи постійно наголошує на необхідності спрощення процесу моделювання, але де міра спрощення- ніяких критеріїв, що можна було б поррахувати, в роботі не введено.
3. Не в усіх випадках запропоновані автором методи та моделі детально порівнюються з існуючими конкурентними. Наприклад, у дисертаційній роботі наведено критичний аналіз методів ідентифікації із застосуванням процедур випадкового пошуку. Як альтернатива пропонується метод ідентифікації, розроблений в дисертаційній роботі. Проте відсутнє зіставлення запропонованого методу ідентифікації з існуючими. Можна навести ще аналогічні приклади.
4. Не має обґрунтування вибору методів розв'язання жорстких диференціальних рівнянь, а це окрема і дуже тонка задача, яка пов'язана з точністю та кількістю обчислювальних операцій.
5. У другому розділі розглянуто математичні моделі із внутрішніми лімітуючими факторами у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь з нелінійною функцією Моно першого та другого роду. Проте існують системи з лімітуючими факторами де нелінійна частина диференціального рівняння є складнішою від функції Моно, наприклад, в яких потрібно враховувати ряд конкуруючих процесів. Чому це не згадано і не розглянуто?
6. У третьому розділі розглянуто моделі систем із лімітуючими факторами, коли частина впливових факторів не спостерігається. Запропоновано процедуру знаходження початкових наближень в задачі ідентифікації з використанням двовимірної нерівномірної сітки, але обґрунтування саме такого підходу не наведено.
7. У четвертому розділі розглянуто моделі систем із зовнішніми лімітуючими факторами. Для розробки методів ідентифікації цих систем прийнято, що похідна функції інтенсивності реакції системи

пропорційна похідній функції навантаження, що не завжди відповідає дійсності. Можуть бути і нелінійні залежності і тоді похибки моделювання значно збільшуються.

8. У п'ятому розділі доцільно було б сформулювати інформаційну технологію та методику застосування розробленого математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для розв'язання задач ідентифікації систем із лімітуючими факторами. В новому переліку спеціальностей робота відповідає якраз спеціальності 122-комп'ютерні науки та інформаційні технології, куди увійде сьогоднішня спеціальність 01.05.02.
9. Взагалі, на нашу думку, точність та кількість операцій в розроблених методах, збіжність алгоритмів, а також порівняння по цих показниках з існуючими конкурентними, потребувала б окремого розглядання і під це треба було виділити певні підрозділи в другій частині роботи. (Наприклад, зовсім не досліджено похибок інтерполяції багаточленами Ерміта в розділі 4.1.2.).
10. В тексті дисертації присутні граматичні та стилістичні помилки: ст.5 зміст, розділ 6.3: «літуючі» замість «лімітуючі»); ст.22 (кома за формулою 1.7), ст.66 (крапка замість коми у формулі 2.16), ст.68 (крапка за формулою 2.23) і т.д., але порівняно з іншими роботами, які буває представляються до захисту, таких помилок небагато.

На наш погляд, зазначені зауваження суттєво не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Загальні висновки.

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що дисертаційна робота Пасічника Романа Мирославовичам на тему «Математичні моделі систем з лімітуючими факторами та методи їх ідентифікації» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові, науково обґрунтовані та практично важливі результати, що у сукупності вирішують науково-прикладну проблему відсутності узагальненої методології моделювання систем із лімітуючими факторами, яка б ґрунтувалася на створенні універсальних моделей та методів їх ідентифікації, відповідному прикладному інженерному інструментарії і забезпечували необхідну якість моделювання. Вирішення зазначеної проблеми забезпечило побудову моделей систем із лімітуючими факторами для ряду предметних галузей.

Основні результати дисертації відповідають вимогам паспорту наукової спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи, зокрема, наступним пунктам розділу II: отримання принципово нових (нетрадиційних) видів математичних моделей, оцінки, ідентифікації та оптимізації математичних моделей, модифікація та спеціалізація існуючих обчислювальних методів з метою підвищення їх ефективності, створення і

дослідження нових обчислювальних методів і алгоритмів, що враховують особливості реальних технічних та технологічних задач, забезпечують створення ефективних програмних засобів комп'ютерної реалізації.

Дисертаційна робота за своїм змістом загалом відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а її автор – Пасічник Роман Мирославович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

Завідувач кафедри автоматичної та інформаційно-вимірювальної техніки
Вінницького національного
технічного університету,
заслужений діяч науки і техніки України,
член-кореспондент НАПН України,
доктор технічних наук, професор

[Handwritten signature] Кветний Роман Наумович



12.12.2016

Підпис *Кветного Р. Н.*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією *[Handwritten signature]*