

Національна академія наук України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є Пухова НАН України
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Національний університет «Одеська політехніка»
Черкаський державний технічний університет
Національний університет водного господарства та природокористування
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
Norwegian University of Science and Technology (Gjøvik, Norway)
University of National and World Economy (Sofia, Bulgaria)
Lublin University of Technology (Lublin, Poland)
Atatürk University (Erzurum, Turkey)
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)



СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ



ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

**10-ї Міжнародної наукової конференції
пам'яті почесного професора**

**Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка,
д.т.н., професора, почесного академіка НАПНУ
Анатолія Федоровича ВЕРЛАНЯ**

Електронне видання

**Кам'янець-Подільський
2024**

Рекомендувала вчена рада Кам'янець-Подільського
національного університету імені Івана Огієнка,
протокол № 6 від 27 червня 2024 року.

Редакційна колегія:

О. М. Хіміч, д.ф-м. н., професор, академік НАН України (голова);
В. А. Федорчук, д. т. н., професор (заступник голови);
А. А. Верлань, д. т. н., професор;
В. А. Іванюк, д. т. н., доцент;
О. Є. Коваленко, д. т. н., професор;
Р. В. Моцик, к. пед. н., доцент;
Ю. В. Теплінський, д. ф-м. н., професор.

Відповідальні секретарі:

В. А. Іванюк, д. т. н., доцент;
І. С. Понеділок, асистент кафедри.

С91 Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації: тези доповідей 10-ї Міжнародної наукової конференції. Пам'яті почесного професора Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка, д.т.н., професора, почесного академіка НАПНУ Анатолія Федоровича ВЕРЛАНЯ [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2024. 142 с.

Електронна версія збірника доступна за покликаннями:

URL: <http://elar.kpnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/8145>

У збірнику друкуються нові результати досліджень з проблем математичного моделювання, прогнозування та оптимізації.

Для наукових та науково-педагогічних працівників, докторантів, здобувачів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

**Пленарне засідання
Відкриття 10-ї Міжнародної наукової конференції
«СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ,
ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ»**

ДОПОВІДІ

Л. О. Митько, канд. фіз.-мат. наук

Інститут проблем моделювання в енергетиці
імені Г. Є. Пухова НАН України, м. Київ

**НАУКОВИЙ ДОРОБОК ТА СПАДЩИНА
АНАТОЛІЯ ФЕДОРОВИЧА ВЕРЛАНЯ**

А. Ф. Верлань, член-кореспондент і почесний академік Національної академії педагогічних наук України, доктор технічних наук, професор.

Народився А. Ф. Верлань 28 січня 1934 року в місті Хмільник Вінницької області у сім'ї військового. Вищу освіту Анатолій Федорович отримав у Київському політехнічному інституті. Після закінчення електротехнічного факультету (1956 р.), працював на підприємствах Мінавіапрому: авіаційний завод у м. Уфа, кафедра автоматичного управління Київського інституту цивільного повітряного флоту. Активну наукову діяльність розпочав з 1960 року в Інституті кібернетики АН України. У 1964 р., після закінчення аспірантури, захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук й у стислі терміни пройшов шлях від молодшого наукового співробітника до завідувача науковим відділом Сектора електроніки і моделювання (1968 р.), яким тоді керував академік Г. Є. Пухов. З 1971 р. після переведення Сектора електроніки і моделювання до Інституту електродинаміки АН України А. Ф. Верлань продовжив свою наукову діяльність в цьому інституті, де у 1973 р. захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а у 1978 р. йому було присвоєне вчене звання професора.

А. Ф. Верлань в колі учнів і однодумців академіка Г. Є. Пухова належав до числа фундаторів Інституту проблем моделювання в енергетиці, створеного у 1981 році. Впродовж десяти років він обіймав посаду заступника директора цього інституту з наукової роботи. З моменту створення інституту й до травня 2015 року він очолював науковий відділ, а останні роки працював головним науковим співробітником наукового відділу моделювання енергетичних процесів і систем.

А. Ф. Верлань відомий український вчений, який вніс значний вклад у розвиток методів математичного моделювання та інформа-

ційних технологій, зокрема в галузі електротехніки та енергетики. На основі створеного ним наукового напрямку у комп'ютерному моделюванні фізичних та інформаційних процесів створена наукова школа, представниками якої є чисельні науковці в нашій країні та за її межами. Запропонований А. Ф. Верланем інтегральний метод математичного моделювання динамічних систем дозволяє ефективно вирішувати складні задачі аналізу, синтезу та діагностики систем керування, електричних і електронних кіл, дослідження та контролю електричних об'єктів з розподіленими параметрами, проектування сучасних технічних об'єктів. В його науковому доробку близько 527 наукових праць, серед яких понад 50 монографій, довідників, наукових збірників та 30 патентів і авторських свідоцтв на винаходи.

Саме інтегральні рівняння стали наріжним каменем його досліджень і першим підсумком цих досліджень стала його кандидатська дисертація «Питання побудови електричних схем та пристроїв для розв'язування інтегральних рівнянь», яка була захищена у 1964 році. А в 1965 році Анатолій Федорович отримує спочатку авторське свідоцтво на «Пристрій для розв'язання інтегральних рівнянь», а через рік авторські свідоцтва «Пристрій для моделювання нелінійних інтегральних рівнянь» та «Аналого-дискретна модель для розв'язання інтегральних рівнянь». Саме з цих пір в його наукових і практичних досягненнях постійно зустрічаються наукові терміни – інтегральні рівняння і моделювання, а закономірним продовженням цих досягнень стає докторська дисертація «Методи електронного моделювання інтегральних та інтегро-диференціальних рівнянь», захист якої відбувся у 1973 році. В дисертації в основних результатах написано: – «Розроблено та досліджено методику електронного моделювання інтегральних співвідношень, що представляє собою сукупність математичних прийомів перетворення та підготовки виразів, що моделюються, методів синтезу розв'язувальних схем та обчислювальних пристроїв на основі електронних моделюючих ланцюгів, а також способів та алгоритмів їх використання, що дозволяє розширити можливості та підвищити ефективність аналогових обчислювальних засобів під час розв'язування задач, що описуються інтегральними та інтегро-диференціальними рівняннями».

Запропоновані в дисертації методи електронного моделювання використовувалися при розв'язанні практичних задач, а також при розробці обчислювальних засобів. До організацій, в розробках яких використовувалися результати дисертаційної роботи або для яких були розв'язані задачі відносяться ЦКБ «Геофізика» (м. Москва), Київський машинобудівний завод ім. Артема, ЦНДІ «Морфізприлад» (м. Ленінград), Харківський політехнічний інститут (Проблемна лабораторія електронного моделювання), завод «Азовкабель» (м. Бер-

дянськ), Львівський політехнічний інститут (науково-дослідні роботи кафедр електротехніки та електромереж), Інститут металофізики АН України. Результати роботи були використані також при розробці математичного аналогового обчислювального комплексу АЗК-2 в («НИИСчетмаш» м. Москва).

Наступним етапом внеску А. Ф. Верланя в розвиток теорії інтегральних рівнянь і їх практичному використанні стала монографія «Методи розв'язування інтегральних рівнянь із програмами для ЕОМ» у співавторстві з Сізіковим В. С., яка побачила світ у 1978 році. А вже в 1986 році автори видали наступну монографію «Інтегральні рівняння: методи, алгоритми, програми», яка мала фактично світове визнання, оскільки отримала позитивні відгуки у провідних світових реферативних журналах, входила до рекомендованих підручників багатьох зарубіжних навчальних закладів і до сих пір використовується в науковому середовищі.

На основі запропонованої А. Ф. Верланем концепції комп'ютерного моделювання створено високопродуктивну методику дослідження довгих ліній електропостачання, аналізу перехідних процесів в кабельних лініях, розв'язання важливої практичної задачі дослідження режимів реактор-трансформаторної частини апарату конденсаторного відбору потужності. Методи моделювання енергетичних процесів в суцільних середовищах дозволили розв'язувати такі трудомісткі задачі як дослідження і формування поверхневих якостей матеріалів для термоелектронних перетворювачів, моделювання теплових полів, діагностики високотемпературної плазми. До важливих результатів необхідно віднести розробку і обґрунтування методів розв'язування прямих і зворотних задач дослідження електричних кіл, синтезу схем, ідентифікації та відновлення зовнішніх збурень. Запропонований А. Ф. Верланем теоретико-груповий підхід до теорії подібності динамічних систем дозволяє вийти за межі традиційних методів теорії подібності за рахунок використання груп перетворень, розширює коло об'єктів, що моделюються за рахунок використання моделей, що їм традиційно не подібні.

Розробки, що виконувалися під керівництвом А. Ф. Верланя, отримали широке впровадження. Зокрема до них відносяться програмні засоби діагностики автономних джерел енергопостачання високо-температурної плазми, пристрої обробки вимірів теплових потоків, програми розрахунку періодичних режимів потужних перетворювачів (вирівнювачів, перетворювачів частоти, інверторів та ін.), засоби контролю герметичності великогабаритних паливних резервуарів та автоматизації контролю металевих конструкцій засобів транспортування енергоносіїв.

Анатолій Федорович вів активну педагогічну діяльність. Серед його учнів – 21 доктор наук та понад 40 кандидатів наук. Понад десять років очолював спеціалізовану вчену раду із захисту дисертацій

в Інституті проблем моделювання в енергетиці імені Г. Є. Пухова НАН України та був членом спеціалізованих вчених рад із захисту дисертацій в інших наукових установах. Входив до складу редколегій ряду фахових видань як в Україні, так і за її межами.

Більше 30 років А. Ф. Верлань брав участь в удосконаленні освіти як у вищій так і в середній школі, сприяв розвитку позашкільних закладів України. Починаючи з 1965 р. приймав участь в розробці шкільних учбових програм, приладів та створював багатотиражні посібники з основ кібернетики. На основі цих публікацій А. Ф. Верланем (спільно з В. М. Касаткіним) був написаний перший в Україні підручник «Основи інформатики та обчислювальної техніки» для 9 та 10 класів середньої школи, що видавався у 1985 та 1986 рр. видавництвом «Радянська школа». В Україні у 1998 році з'явився перший пробний національний підручник з інформатики (Вікіпедія) – Верлань А. Ф., Апатова Н. В. Інформатика. Підручник для учнів 10-11 класів середніх загальноосвітніх шкіл. – Київ: Квазар-Мікро, 1998. – 200 с.

У 2000-2001 роках вийшли три видання підручника «Інформатика» для 10-11 класів загальноосвітньої середньої школи (авт. А. Ф. Верлань, Н. В. Апатова) загальним накладом біля 500 тисяч примірників (українською та російською мовами), який був рекомендованим МОН України для використання загальноосвітніми закладами країни.

А. Ф. Верлань брав участь у становленні першої в колишньому СРСР Малої академії наук (Кримської) та низки інших малих академій в Україні, а також є засновником у 1975 р. Київської малої академії, вніс величезний вклад у справу підтримки і розвитку творчих, інтелектуальних здібностей юнацтва і молоді.

Указом Президента України від 4 березня 1992 року була заснована Академія педагогічних наук України, яка 24 лютого 2010 року отримала статус національної. В листопаді 1992 року на Загальних зборах було сформовано склад і керівні органи АПН України. Відділення дидактики, методики та інформаційних технологій в освіті було утворене 18 листопада 1992 р. у числі перших трьох відділень Академії, яке згодом стало називатись – Відділення загальної середньої освіти. Перший склад відділення налічував 11 осіб – 5 дійсних членів і 6 членів-кореспондентів АПН України, одним із них був А. Ф. Верлань, який входив до складу бюро відділення. Учені Відділення зробили помітний внесок у формування концептуальних засад нової школи суверенної Української Держави. Враховуючи вагомий внесок Анатолія Федоровича у формування і розвиток освіти його було обрано почесним академіком Національної академії педагогічних наук України по Відділенню загальної середньої освіти.

Значне місце у науковій та педагогічній діяльності Анатолія Федоровича займала співпраця з фахівцями та науковими колективами Рес-

публіки Узбекистан, яка тривала понад тридцять років. В результаті такої співпраці було підготовлено 5 докторів наук і 8 кандидатів наук, 9 монографій, понад 130 статей, 10 патентів. Рішенням вченої ради Ташкентського державного технічного університету А. Ф. Верляня було обрано Почесним доктором цього університету. Анатолія Федоровича також було обрано Почесним професором Вінницького національного університету, Черкаського державного технологічного університету та Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка.

Останні 20 років свого життя А. Ф. Верлянь приділяв значну увагу розвитку систем із вбудованим інтелектом на базі архітектури машини діалогу, когнітивному управлінню в інтелектуальних навчальних системах, інформаційним системам з адаптивним управлінням процесами сприймання знань та проблемам інтерпретації та розвитку штучного інтелекту, що знайшло відображення в монографіях «Інформаційні системи з адаптивним управлінням процесами сприймання знань», «Когнитивное управление в интеллектуальных обучающих системах», «Математичне моделювання неперервних динамічних систем», «Императивное программирование и объектно-ориентированное моделирование: Java, UML, OCL».

За високий професіоналізм та особистий внесок у розвиток науки А. Ф. Верляня було нагороджено орденом «Знак Пошани», нагрудними знаками Міністерства освіти і науки України «А. С. Макаренко», «Відмінник освіти України», Почесними грамотами НАН України, медалями Національної академії педагогічних наук України «Ушинський К. Д.», «Григорій Сковорода», «Володимир Мономах». За визначні результати у галузі досліджень з енергетики А. Ф. Верлянь був удостоєний іменної премії ім. Г. Ф. Проскури НАН України. У 1995 році йому було присвоєно почесне звання «Заслужений діяч науки і техніки України».

Анатолій Федорович Верлянь належить до наукової еліти України, світла пам'ять про нього назавжди збережеться в історії науки України, у наших душах і серцях.

О. М. Хіміч, д-р фіз.-мат. наук, професор, академік НАН України
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, м. Київ

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: ІННОВАЦІЇ, ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ

Високопродуктивні обчислення і суперкомп'ютерні технології на основі паралельних обчислень на даний час є одним з основних інструментів (а інколи і єдиним) математичного моделювання в наукових і інженерних дослідженнях.

Разом із зростанням можливостей паралельних комп'ютерів зростають і проблеми їх створення та експлуатації, реалізації високопродуктивних обчислень. Вже зараз є суттєві відмінності за рахунок комунікаційних втрат між максимальною та експлуатаційною продуктивностями [1]. Основні проривні досягнення в цих напрямках: нові моделі обчислень, що враховують багаторівневий паралелізм (розподілені, паралельні, гібридні обчислення, квантові обчислення), блочно-циклічні методи розподілу та обробки інформації на розподілених обчислювальних системах, які дозволили позбутися обмеження на ефективність внаслідок ефекту Гайдна та забезпечили створення збалансованих паралельних обчислювальних алгоритмів; методи структурної регуляризації для ущільнення великих розріджених даних, кеш-когерентні методи обробки даних (кешизація обчислень), динамічна адаптивна реконфігурація архітектури в процесі обчислень [2-4]. На часі дослідження та розробка квантових обчислень та програмного забезпечення для задач математичного моделювання, що забезпечить інтенсивний, принципово новий шлях нарощування ресурсу високопродуктивних обчислень.

Ключовою проблемою математичного моделювання процесів, систем та об'єктів незалежно від їх природи (механічних, фізичних економічних, медичних, соціальних тощо) є проблема достовірності отримуваних комп'ютерних результатів. Відомо, що у ряді випадків при вирішенні наукових та інженерних завдань на комп'ютерах користувачі отримують машинні результати, що не містять фізичного сенсу. Це відбувається з багатьох причин, але насамперед через похибку у вихідних даних, відмінності властивостей математичних та машинних моделей задач, відмінності арифметики та машинної арифметики тощо. Практично всі інженерні та наукові задачі мають наближені вихідні дані. Характерною особливістю математичних моделей з наближеними вихідними даними є те, що їх математичні властивості апіорі невідомі і в рамках похибок вихідних даних можуть змінюватись. Більше того, у фіксованому комп'ютерному середовищі неможливо розрізнити вироджену матрицю від погано обумовленої, патоло-

гічно близькі власні значення від кратних тощо. Проблема достовірності комп'ютерних рішень залишається й надалі однією з практично важливих. Істотна роль покладається на математичні методи оцінювання спадкової, обчислювальної та повної похибок комп'ютерних результатів, програмний та технічний інструментарій багаторозрядної та змішаної арифметики [2-3, 5-6].

Іншою, не менш важливою проблемою практичної реалізації методів математичного моделювання на основі високопродуктивних обчислень є створення програмного забезпечення рівня кінцевого користувача – інтелектуальних програмних засобів, що забезпечують спілкування з комп'ютером мовою предметної області та автоматичну адаптацію методу, комп'ютерного алгоритму, програми та топології комп'ютера до властивостей комп'ютерної задачі у процесі отримання рішення. Програмний інструментарій для цього – знання орієнтовані технології, що базуються на методах гібридного штучного інтелекту з використанням формальних методів та методів машинного навчання [6-7].

Вирішення перерахованих проблем для основних класів задач обчислювальної та прикладної математики (систем лінійних рівнянь алгебри, алгебраїчної проблеми власних рішень, систем звичайних диференціальних рівнянь, нелінійних рівнянь) розглядається в рамках розробки засадничих принципів математичного моделювання, в основі яких лежить тріада: високопродуктивні обчислення, комп'ютерна математика, штучний інтелект. Реалізація такого підходу дозволяє істотно перерозподілити роботи з постановки і розв'язування задач між користувачем і комп'ютером порівняно з традиційними технологіями, автоматизувати процес дослідження та розв'язання задач, забезпечити достовірність комп'ютерних розв'язків та істотно скоротити час математичного моделювання.

Список використаних джерел:

1. URL: www.top500.org
2. Химич А. Н., Молчанов И. Н., Попов А. В. и др. Параллельные алгоритмы решения задач вычислительной математики. Киев: Наук. думка, 2008. 248 с.
3. Khimich O. M., Popov A. V., Chistyakov O. V., Kokhanovskiy V. O. Adaptive Algorithms for Solving Eigenvalue Problems in the Variable Computer Environment of Supercomputers. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2023, Vol. 59. №3. P. 480-492.
4. Khimich O. M., Popov A. V. Solving Ill-Posed Problems of the Theory of Elasticity Using High-Performance Computing Systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2023. Vol. 59. №6. P. 743-752.
5. Nikolaevskaya E., Khimich A., Chistyakova T. Programming with Multiple Precision. *Studies in Computational Intelligence*. Berlin: Springer-Verlag. Heidelberg, 2012. 120 p.

6. Khimich O. M., Chistyakova T. V., Sidoruk V. A., Ershov P. S. Adaptive computer technologies for solving problems of computational and applied mathematics. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2021. Vol. 57. №6. P. 990-997.
7. Химич А. Н., Молчанов И. Н., Мова В. И. и др. Численное программное обеспечение MIMD-компьютера Инпарком. Киев: Наук. думка, 2007. 221 с.

Andriy Verlan, DSc

Norwegian University of Science and Technology, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

SMART ENERGY LAB: INTELLIGENT MULTI-AGENT ENVIRONMENT FOR SMART ENERGY SYSTEM MODELLING, DESIGN AND TRAINING

The world around is rapidly saturated with new technologies and automation tools. Recently such concepts as Internet of Things, Big Data, unmanned technologies, cloud computing, smart / intelligent building/city are becoming commonplace. Today's trends are: growing share of renewable and non-traditional energy sources, both centralized and «consumer»; development of energy storage market; development of online customer services, in particular, sale of energy, integration of energy and financial services; growth of the world market of building management systems; growth of the world market of energy management services; development of municipal smart energy infrastructures; management of energy use connected with the situational demand [1]. And behind these familiar concepts there are some hidden specialized processes of planning, design, creation and operation. Sustainable development of the above processes requires more and more specialized professionals. Qualitative and timely training of specialists in smart energy approach is one of the driving forces of sustainable development of society nowadays.

The Smart Energy System for more secure and efficient energy supply is the matter of how we use the intelligent approach to energy management to get safe, clean, reliable and flexible energy system.

Trends in smart energy reflect a dynamic shift toward sustainability, decentralization, and technological integration. The urgency of the situation is marked by global recognition of the need for clean energy solutions, supported by policy frameworks and increased consumer awareness. The current situation requires continuous development of infrastructure and technology, supported by joint efforts to create a more sustainable energy future.

To challenge the above vital tasks a collaborative NTNU-KPI research team has been working on a new strategic project initiative to build a joint NTNU-KPI Smart Energy Lab (SEL) for research and educational purposes substantially enriching capacity in providing knowledges and

practical skills in the strategic area of energy sustainability (Fig. 1). SEL key research objectives are intelligent multi-agent environment for smart energy system modelling, design and training.

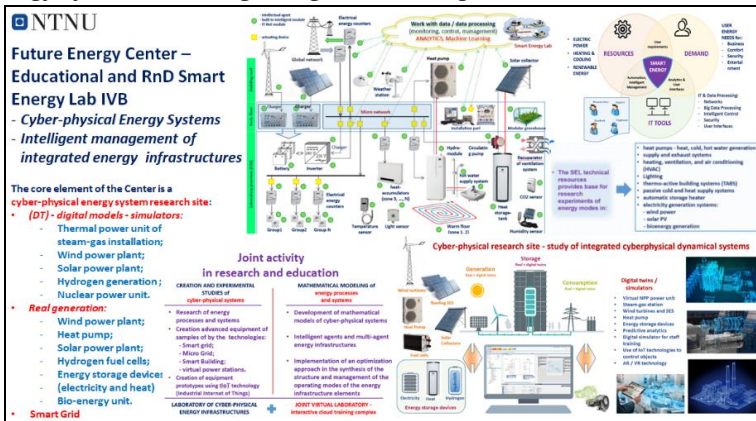


Fig. 1. Smart Energy Lab concept

Main SEL activities are: development of a joint virtual software complex, cyber-physical power engineering systems lab, intelligent and well-being environment model, learning and research facility management system, math modelling and multi-agent approach, experimental Models and Agent Interactions (MAS), cloud training simulator for Intelligent Management of Integrated Engineering System Infrastructure, cloud-based distributed system of power engineering students and personnel training.

The scope of the SEL includes the following research directions using AI, ML, DT, IoT and smart sensor networks: identification of users' energy needs, intelligent management of energy use (generation, accumulation, distribution, consumption), meeting sustainability requirements for ensuring a healthy environment, intelligent management of multiple/blended energy generation – complex usage of renewable, traditional energy sources and energy storages (micro-GRID, smart GRID, smart buildings, etc. [2, 3]), math models of energy systems, intelligent agents and multi-agent energy infrastructures, training and research stands, optimization approach in the synthesis of the structure and management of the operation modes of the energy system infrastructure elements.

References:

1. Sioshansi F. P. Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy. Academic Press. 2011.
2. Borlase S. Smart Grids: Infrastructure, Technology, and Solutions. CRC Press. 2013.
3. Chowdhury S., Chowdhury S. P., Crossley P. Handbook of Smart Grid Technologies. Palgrave Macmillan. 2013.

I. M. Cherevko, Dr. Sc., Professor,
L. A. Piddubna, PhD.,
O. V. Matwiy, PhD.,
S. A. Ilika, PhD.

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi

APPROXIMATION SCHEMES FOR DIFFERENTIAL- DIFFERENCE EQUATIONS AND THEIR APPLICATIONS

Schemes for approximating differential-difference equations by special schemes of ordinary differential equations are proposed in the work [1]. Further research was found in various functional spaces [2, 3].

Consider the Cauchy problem for a delayed differential equation

$$\frac{dx}{dt} = F(t, x(t), x(t - \tau)), \quad (1)$$

$$x(t) = \varphi(t), t \in [t_0 - \tau, t_0], \quad (2)$$

where $x \in R^n, \tau > 0, t_0 \in R, F(t, u, v)$ is a continuous function.

Equation (1) corresponds to an approximating system

$$\frac{dt_0}{dt} = F(t, z_0, z_m), \quad (3)$$

$$\frac{dz_j}{dt} = \frac{m}{\tau} (t_{j-1}(t) - z_j(t)), j = \overline{1, m},$$

$$z_j(t_0) = \varphi(t_0 - \frac{j\tau}{m}), j = \overline{0, m}. \quad (4)$$

Theorem 1 [2]. If the solution of the problem (1)-(2) $x(t) \in ([t_0 - \tau, T])$, then

$$\left| x(t - \frac{j\tau}{m}) - z_j(t) \right| \leq \beta(\omega(x, \frac{\tau}{m})), j = \overline{0, m}, t \in [t_0, T],$$

where $\beta(\delta) \rightarrow 0$ and $\delta \rightarrow 0, \omega(x, \frac{\tau}{m})$ – the continuity modulus of the function $x(t)$ on $[t_0 - \tau, T]$.

The study of approximation of linear stationary systems with a delay allowed us to construct algorithms for approximate detection of nonasymptotic roots of quasi-polynomials. Using these algorithms, a method for modelling the stability of solutions of linear systems is developed [2, 3].

Consider the initial problem for a linear system with many delays

$$\frac{dx}{dt} = Ax(t) + \sum_{i=1}^k B_i x(t - \tau_i), \quad (5)$$

ЗМІСТ

Доповіді

Митько Л. О.

Науковий доробок та спадщина Анатолія Федоровича Верланя.....3

Хіміч О. М.

Математичне моделювання: інновації, проблеми і перспективи.....8

Verlan Andriy

Smart Energy Lab: Intelligent Multi-Agent Environment
for Smart Energy System Modelling, Design and Training 10

Cherevko I. M., Piddubna L. A., Matwiy O. V., Ilika S. A.

Approximation Schemes for Differential-Difference
Equations and Their Applications 12

Kovalenko O., Velez D., Karevina N., Li L.

Situational Agents in Disaster Risk
Management Problems Decision..... 14

Федорчук В. А., Іванюк В. А.

Інтегральні моделі в задачах відновлення вхідних сигналів
нелінійних вимірювальних перетворювачів 16

Секція 1. ІНТЕГРАЛЬНІ МЕТОДИ В ЗАДАЧАХ МАТЕМАТИЧНОГО ТА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Sytnyk O. O., Klyuchka K. M., Protasov S. Yu., Kyselova H. O.

Application of Integral Dynamic Models
for Research Of Electrical Circuits 20

Геселева К. Г.

Побудова наближеного розв'язку одного типу
інтегро-функціональних рівнянь з малою нелінійністю..... 22

Лluca A. C., Павленко В. Д.

Інструментальні засоби організації хмарних обчислень
в задачах ідентифікації нелінійних динамічних систем 24

Павленко В. Д., Лукашук Д. К.

Дослідження точності ідентифікації окуло-моторної
системи на основі інтегральних моделей 26

Секція 2. ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБЧИСЛЕНЬ

Zadiraka V. K., Tereshchenko A. M., Shvidchenko I. V.

S-Word Arithmetic and High Precision Computations 28

Білушак Ю. І.

Метод чисельного знаходження подвійних
інтегралів зі змінною областю інтегрування 30

Луц Л. В.

Оптимальне за точністю інтегрування
швидкоозцилювальних функцій для підінтегральних
функцій, що мають неперервну другу похідну 32

Щирба В. С.

Організація обчислювальних процедур
при побудові оптимізаційної траєкторії літального апарату 34

Сидорук В. А., Павлюк А. В.

Деякі способи використання
паралельних обчислень в прикладних задачах 35

Секція 3. СТРАТЕГІЇ ТА ІННОВАЦІЇ В ІТ-ОСВІТІ**Жолтовський О. О.**

Програмна агрегація контенту для вивчення іноземної мови 38

Кравчук О. В.

Форми використання інформаційних
технологій в освітньому процесі 39

Кух О. М., Кух А. М.

Моделювання обертання маятника Фуко засобами GNU OCTAVE.....41

Кух О. М., Кух А. М.

Цифрова компетентність і цифрове громадянство 44

Моцик Р. В.

Вплив штучного інтелекту на онлайн-навчання 47

Гончар Р. Я., Іванюк В. А., Мястковська М. О., Понеділок В. В.

Рефакторинг інформаційного середовища кафедри закладу
вищої освіти на основі сучасних інноваційних підходів..... 49

Секція 4. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**Зеленський О., Фенцур М., Динич А., Стремедловський П.**

Комбінаторний аналіз в моделюванні лотерей: визначення
мінімальної кількості білетів для гарантованого виграшу..... 51

Іванюк В. А., Кушнір О. К.

Побудова моделей інтелектуального аналізу даних 52

Панчелюга О. П., Жуковський В. В.

Деякі аспекти виявлення нерозірваних боеприпасів
та мін за допомогою глибокого навчання
на основі термальних зображень 54

Пилипюк Т. М.

Прийняття рішень в умовах невизначеності 56

Порохнавець А. А.

Моделювання інвестиційної діяльності з криптоактивами 57

Решетняк П. Ю.

Система онтологій для моніторингу стану
захищеності телекомунікаційних послуг 59

Секція 5. МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ

Blagitko B., Myronyuk D., Zajachuk I., Bodakovskiy Y.

Latency Image Recognition Benchmark in Real-Time 62

Nikitin A. V., Krasiuk B. V.

Multidimensional Model of Information
Warfare with Consideration of Random Factors 64

Palahin V., Palahina O., Ivchenko O., Smirnov D., Zorin O.

Polynomial Methods and Algorithms for Signals Detection
and Distinction in Non-Gaussian Noise 66

Бак С. М., Ковтонюк Г. М.

Про існування біжучих хвиль в системах типу Фермі-Пасти-Улама
з нелокальною взаємодією на двовимірній ґратці 68

Барановський С. В., Бомба А. Я.

Модифікація моделі вірусної інфекції для урахування
дифузійних збурень, конкурентної адсорбції
в умовах температурної реакції організму 70

Бігун Я. Й., Квасецький Я. А.

Математична модель поширення епідемії
з лікуванням із запізненням 72

Малачівський П. С., Мельничок Л. С.

Мінімаксне наближення логарифмом від раціонального виразу 73

Максимюк В. А., Ушакова В. С., Ушаков О. В.

Про верхню оцінку напружень і деформацій
у водяному кулеуловлювачі 75

Глухов Ю. П.

Захищений пружним шаром стисливий попередньо
напружений півпростір при рухомому навантаженні 77

Громик А. П., Конет І. М., Пилипюк Т. М.

Параболічні крайові задачі математичної фізики
в напівобмеженому кусково-однорідному
клиновидному порожнистому циліндрі 80

Гудима У. В., Гнатюк В. О.

Умови екстремальності допустимого елемента
для задачі відшукування узагальненого чебишовського
центра кількох точок деякого поліномованого
простору відносно множини цього простору 82

Дорош А. Б., Дорош І. В., Перцов А. С. Моделювання динаміки накопичення біомаси та каротиноїдів у мікродорослях	84
Ємець К. В. Адаптація архітектури трансформерів для прогнозування часових рядів	86
Задорожний В. В., Смалько О. А. Модель криптоблокчейну з посиленням захистом конфіденційності	88
Зубілевич А. В. Масштабування інформаційно-аналітичних документоборотних систем.....	90
Кириленко М. Д., Щирба В. С. Оптимізація траєкторії літального апарату на прикладі балістичної ракети	92
Клевчук І. І., Щур О. І. Квазіоптимальна стабілізація лінійних керованих сингулярно збурених систем із запізненням	93
Коваль І. Створення та тестування універсальної моделі попередньої обробки тексту у середовищі Orange Data Mining	94
Ковальська І. Б., Радзівська О. І. Співвідношення між константами Сеґе за різними еквівалентними системами елементів Банахового простору	96
Косович І. Т., Черевко І. М., Краснокутський О. С. Агентно-орієнтоване моделювання поширення епідемій	98
Максимюк В. А., Сторожук Є. А. Про перетворення координат в задачах концентрації напружень біля еліптичного отвору в сферичній оболонці	100
Малачівський Р. П. Застосування для опису термометричної характеристики термісторів НТС	102
Положаєнко С. А., Прокоф'єв А. Ю. Оцінювання розв'язків задач моделювання динамічних систем на основі методу ранжування за похибкою	104
Савельєв А. А., Прокоф'єва Л. Л. Математична модель реалізації енергозощадливого динамічного режиму у фрактально-неоднорідних структурах	106
Смалько О. А. Математичні основи комп'ютерного моделювання деяких компонентів цифрового ландшафту	108
Снайчук Я. Л., Обельовська К. М. Маршрутизація пакетів у комп'ютерній мережі з недовіренними маршрутизаторами.....	110

Станіславів О. С.

Генерація тривимірного ландшафту з використанням методу моделювання гідравлічної ерозії на основі частинок 112

Сторожук Є. А., Чернишенко І. С.

Математичне моделювання пружного деформування циліндричної оболонки змінної товщини за дії динамічного навантаження 113

Фомін О. О., Літинський В. В., Татарин О. В.

Математична модель динаміки в гетерогенних системах з проміжним «агентом» 115

Чабанюк Я. М., Нікітін А. В., Чипурко Р. А.

Генератор задачі керування для дифузійного процесу в схемі Леві в напівмарковському середовищі 117

Чабанюк Я. М., Степаняк О. Б.

Збіжність процедури стохастичної апроксимації моделі Шахта-Сантона з напівмарковськими переключеннями 118

Чабанюк Я. М., Хімка У. Т., Литвин А. А.

Задача керування для дифузійної моделі епідемії з напівмарковськими змінами коефіцієнтів 119

Чабанюк Я. М., Хімка У. Т., Семенюк С. А.

Генератор стохастичної еволюції з марковсько-модульованим Пуассонівським шумом 120

Черевко І. М., Щур Т. В., Коньяков А. Г.

Числове моделювання початкових задач для диференціальних рівнянь із запізненням 121

Чернуха О. Ю.

Моделювання потоків домішкової речовини у двофазному стохастично неоднорідному тілі з прошарками випадкової товщини 123

Чернуха Ю. А.

Математичне та комп'ютерне моделювання дифузійних процесів за дії системи випадкових точкових джерел маси при заданій статистиці 125

Чучвара А. Є.

Комп'ютерне моделювання перенесення маси у випадково неоднорідній смузі з кульовими включеннями на нижній границі тіла 127

Юрченко І. В., Ясинський В. К.

Дослідження поведінки розв'язків стохастичних диференціальних рівнянь у частинних похідних з випадковими параметрами в правій частині 129

Бараннік В., Онищенко Р., Ревва К., Шульгін С.

Модель компресійного кодування відеосегментів 131

Слободянюк О. В.

Частотні методи приховування даних в аудіо контейнерах 133

Національна академія наук України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є Пухова НАН України
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Національний університет «Одеська політехніка»
Черкаський державний технічний університет
Національний університет водного господарства та природокористування
Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського
Norwegian University of Science and Technology (Gjøvik, Norway)
University of National and World Economy (Sofia, Bulgaria)
Lublin University of Technology (Lublin, Poland)
Atatürk University (Erzurum, Turkey)
Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

10-ї Міжнародної наукової конференції
пам'яті почесного професора

Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка,
д.т.н., професора, почесного академіка НАПНУ
Анатолія Федоровича ВЕРЛАНЯ

Електронне видання

Підписано 12.07.2024. Формат 60х84/16. Гарнітура «Times».
Об'єм даних 3,21 Мб. Обл.-вид. арк. 8,6. Зам. № 1117.

Кам'янець-Подільський національний університет
імені Івана Огієнка,
вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300.
Свідцтво серії ДК № 3382 від 05.02.2009 р.

Виготовлено в Кам'янець-Подільському національному
університеті імені Івана Огієнка,
вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300.

Секція 1.
ІНТЕГРАЛЬНІ МЕТОДИ В ЗАДАЧАХ
МАТЕМАТИЧНОГО ТА КОМП'ЮТЕРНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ

О. О. Sytnyk, Dr. Sc., Professor,

К. М. Klyuchka, PhD,

S. Yu. Protasov, PhD,

Н. О. Kyselova

Cherkasy State Technological University, Cherkasy

**APPLICATION OF INTEGRAL DYNAMIC MODELS FOR
RESEARCH OF ELECTRICAL CIRCUITS**

The modern stage of development of electrical engineering is characterized by an increase in the complexity of the tasks of analysis and design of electrical engineering devices, which is caused by the widespread introduction of electrical circuits that contain heterogeneous elements – both with concentrated and distributed parameters. This circumstance imposes special requirements on their models, up to the need to use non-traditional models, the structure of which should take into account the heterogeneity of these circles [1]. In addition, for the calculation and design of a significant number of electrical circuits, the initial information is experimentally obtained data in the form of continuous dynamic characteristics of these circuits. In this case, it is quite difficult to apply traditional models in the form of differential equations, which belong to the class of parametric models. In principle, the most effective should be non-parametric models that are formed directly on the basis of dynamic characteristics. This feature is possessed by models in the form of integral operators or equations, which have a number of such positive properties as high universality, potentially high stability of computing processes, the property of smoothing experimental data, and the possibility of effective construction of macromodels [1, 2].

In the general case, an arbitrary electric circuit is described by a system of integral equations of Voltaire-Uriason

$$y_i(t) + \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^t H_{ij} \left[t, s, y_j(s) \right] ds = \sum_{q=1}^m \int_{t_0}^t G_{iq} \left[t, s, f_q(s) \right] ds, \quad (1)$$

where $y_i(t)$ ($i = \overline{1, \bar{n}}$) – unknown quantities (currents, voltages, flows); $f_q(t)$ ($q = \overline{1, \bar{m}}$) – functions that depend on external sources and initial conditions; H_{ij} i G_{iq} – the transforming characteristics of the elements.

In the case of a linear circle, instead of (1), the system of linear equations of Voltaire is used

$$y_i(t) + \sum_{j=1}^n \int_{t_0}^t H_{ij}(t,s) y_j(s) ds = \sum_{q=1}^m \int_{t_0}^t G_{iq}(t,s) f_q(s) ds, \quad (2)$$

where, in this case, the kernels of the equations $H_{ij}(t,s)$ i $G_{iq}(t,s)$ have the meaning of weight functions (impulse characteristics).

For a number of applied problems of modeling the dynamics of electric circuits, it is possible to present mathematical models in equivalent forms: differential, integral, and integro-differential. It is obvious that the errors of numerical solutions depend in different ways on the level of accuracy of the initial data set and the level and type of obstacles for different forms of mathematical models. Therefore, in order to assess the conditions of applicability and determine the area of preferential use of types of mathematical models of electric circuits, the influence of interference of different frequencies on the accuracy of the calculation of dynamic processes in an electric circuit was investigated.

It was established that the choice of one or another mathematical model largely depends on the frequency of interference. It is obvious that in the field of low-frequency disturbances, the differential model should be preferred. However, as the frequency of the disturbance increases, the accuracy of the differential model solution decreases, and the integral and integro-differential models are more appropriate.

As a general conclusion, it should be noted that the use of integral equations to describe the dynamics of electric circuits leads to obtaining a number of peculiar methods of their qualitative and quantitative analysis.

References:

1. Verlan A. F., Verlan A. A., Klyuchka K. M., Fedorchuk V. A. Integral dynamic models of electrical circuits: monograph. Kamianets-Podilskyi: Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University, 2022. 172 p.
2. Sytnyk A. A., Klyuchka K. N., Kostyan N. L. The method of identification of a dynamic object using an integral model.