

Національна академія наук України
ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМЕНІ В.М.ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ

P 17

**НАУКОВА РОБОТА
«МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНІ
ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ І КЕРУВАННЯ
ІНФОРМАЦІЙНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТА
СИСТЕМАМИ»**

КИЇВ
2016

Авторський колектив

БІДЮК Петро Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» Національного технічного університету України "КПІ".

КАСЬЯНОВ Павло Олегович – доктор фізико-математичних наук, доцент, завідувач відділу Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» Національного технічного університету України "КПІ".

КІСЕЛЬОВА Олена Михайлівна – член-кореспондент НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, декан факультету прикладної математики Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара.

КРАК Юрій Васильович – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

КУЛЯС Анатолій Іванович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, учений секретар Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

ЛЕБЕДЕВА Тетяна Тарасівна – кандидат економічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

СЕМЕНОВА Наталія Володимирівна – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

СТЕЦЮК Петро Іванович – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.



Сучасний науково-технічний прогрес людства характеризується **стрімким розвитком глобального процесу інформатизації суспільства**, тому розробка високоефективних інформаційних технологій та систем, основаних на досягненнях фундаментальних і прикладних наук, є актуальною і складною проблемою.



Одним із базових напрямів досліджень, пов'язаних з вирішенням цієї проблеми, є **розробка ефективних оптимізаційних методів та інформаційно-комунікаційних технологій** для аналізу, прогнозування та керування складними системами, що виникають при моделюванні технічних та соціо-економічних процесів, зокрема, при прийнятті управлінських рішень на різних рівнях, в бюджетному та макроекономічному прогнозуванні і плануванні, розміщенні об'єктів, проектуванні складних технічних систем тощо.



Пріоритетним напрямом досліджень є створення, на основі отриманих фундаментальних результатів, **нових людино-комп'ютерних інтерфейсів та програмного забезпечення** різного призначення, розробка комп'ютерних систем дослідження інтелектуальної діяльності людини в застосуваннях до вирішення проблем робототехніки, обробки та розпізнавання текстової, голосової та жестової інформації та ін.

Метою досліджень є

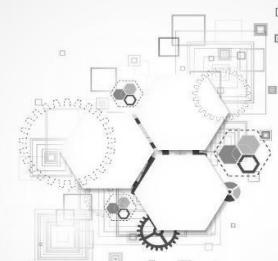


вирішення важливої науково-технічної проблеми створення ефективних оптимізаційних методів та розробки інформаційно-комунікаційних технологій для аналізу, прогнозування та адаптивного керування складними системами, що виникають при моделюванні технічних та соціо-економічних процесів.

Об'єднання наукових праць у єдину роботу обґрунтовується

розв'язанням у них важливої науково-технічної проблеми побудови нових ефективних методів аналізу для проблем оптимізації та інтелектуального аналізу даних.

Мета досліджень та наукова новизна



Наукова новизна одержаних результатів полягає у:

створенні системного математичного інструментарію для якісного та конструктивного поглибленого дослідження нелінійних керованих процесів та полів різної природи;

створенні теоретичних основ і математичних методів дослідження коректності та ефективного розв'язування різних класів задач дискретної оптимізації за умов багатокритеріальності, наявності можливих збурень, керованості і невизначеності вхідних даних;

створенні математичної теорії аналізу та розв'язування неперервних задач оптимального розбиття;

розвиненні класичної теорії оптимізації негладких опуклих функцій, на основі якої побудовані нові сімейства субградієнтних методів з перетворенням простору, розробленні нових методів негладкої оптимізації для знаходження лагранжевих двоїстих оцінок в квадратичних неопуклих задачах;

якісному та конструктивному дослідженні загальних класів марковських процесів прийняття рішень з допустимо некомпактними множинами рішень та необмеженими функціями витрат із глибокими застосуваннями до задач прийняття оптимальних рішень в промисловості, робототехніці, інформатиці, державній безпеці та військових науках, охороні здоров'я, бізнесі тощо;

створенні теорії математичного моделювання, оптимальної фільтрації та оптимального адаптивного керування елементами і системами великих космічних конструкцій з лінійними та нелінійними динамічними характеристиками;

розробленні ефективних оптимізаційних методів розв'язання задач планування станів та проектування просторових кінематичних схем маніпуляційних роботів, у тому числі методів проектування оптимальних структур маніпуляційних роботів для виконання завдань з певного класу;

розробленні методів обробки аудіо і відео даних і створенні, на їх основі, нових інформаційних технологій для моделювання та вивчення української жестової мови, аналізу і синтезу голосої інформації;

створенні вперше в Україні системи автоматичної діагностики суднових енергетичних установок на основі методів інтелектуального аналізу даних.

Основні досягнення. У галузі математичних методів оптимізації

Створено нові математичні підходи, методи і алгоритми для якісного та конструктивного дослідження нелінійних керованих процесів та полів різної природи, що включає в себе теорію диференціально-операторних рівнянь та включень для задач аналізу даних різної природи, теорію багатозначної динаміки нелінійних процесів та полів на розв'язках нелінійних еволюційних рівнянь та включень, мульти- та хеміваріаційних нерівностей.



Для процесів екології та енергетики, складних процесів інтенсивного тепло- та масопереносу з великими градієнтами та швидкими змінами в часі **розв'язано проблему адекватного вибору математичної моделі досліджуваного процесу**, яка з одного боку, з допустимою точністю описує залежність між визначальними параметрами задачі, а з іншого боку - вкладається в розроблений математичний апарат, що забезпечує необхідні якісні властивості для шуканих розв'язків та дозволяє, зокрема, коректно прогнозувати функції стану вихідної математичної моделі і вивчати її чисельно. Досліджено ефекти, пов'язані з вивченням турбулентних потоків в'язкої нестислої рідини, механічних ефектів квантової механіки, ефектів, пов'язаних з розповсюдженням вібро-, гідро-, сейсмоакустичних хвиль, керуванням різноманітними технологічними процесами, для яких функції стану підкоряються нерегулярним або випадковим законам.



Для загальних класів марковських процесів прийняття рішень з допустимо некомпактними множинами рішень та необмеженими функціями витрат **доведено існування стаціонарних оптимальних нерандомізованих стратегій, вивчено їх функціонально-топологічні властивості, обґрунтовано високоточні алгоритми побудови таких стратегій** в загальних випадках, зокрема, досліджено стійкість побудованих конструкцій відносно стохастичних збурень параметрів проблеми. Результати застосовано до задач прийняття оптимальних рішень в промисловості (технічна підтримка промислових систем, система експертизи промислової безпеки); робототехніці (автоматизоване прогнозування); бізнесі (маркетинг, керування запасами); інформатиці (усунення несправностей мереж, оптимізація запитів до серверів розподілених баз даних); державній безпеці та військових науках (пошук рухомих цілей, ідентифікація цілей, розподіл зброї); охороні здоров'я (медична діагностика, розробка протоколів лікування).

Основні досягнення. У галузі математичних методів оптимізації

Побудовано теоретичні основи та створено математичний апарат дослідження коректності векторних дискретних моделей, аналізу їх вхідних даних. На основі результатів цієї теорії розроблено, обґрунтовано та досліджено нові математичні методи, алгоритми і створено програмне забезпечення для розв'язування векторних задач як детермінованих, так і за умов невизначеності.



Досліджено проблему розв'язуваності задач векторної оптимізації. Встановлено нові необхідні й достатні умови існування різних видів ефективних розв'язків, умови стійкої (нестійкої) розв'язуваності векторних задач за можливих збурень вхідних даних. Досліджено різні типи стійкості векторних задач цілочислової оптимізації пошуку множин Парето, Слейтера та Смейла, які мають опуклі квадратичні та диз'юнктивні функції обмежень. Досліджено задачі цілочислової оптимізації з неточно заданими даними, які відповідають різноманітним ситуаціям, що моделюються. Розроблено та обґрунтовано декомпозиційний підхід до розв'язання різних класів таких задач. Побудовано методи розв'язання різних класів задач дискретної оптимізації, що поєднують пошук оптимального розв'язку із знаходженням невизначених та керованих даних моделі. Побудовано й обґрунтовано точні і наближені декомпозиційні методи знаходження гарантуючих і оптимістичних розв'язків задач дискретної оптимізації в умовах невизначеності даних, які базуються на конструктивних апроксимаціях їх задачами більш простої структури, досліджені умови їх збіжності. Розроблено декомпозиційний метод розв'язання векторних задач з допустимою областю частково дискретної структури. Запропоновано поліедральний підхід до розв'язання векторних задач дискретної оптимізації на різних комбінаторних множинах та їх узагальненнях. Розроблено математичний апарат дослідження некоректних задач оптимізації, розв'язано важливі класи задач прийняття рішень. Розроблені математичні моделі та оптимізаційні методи є новим інструментарієм науково обґрунтованого врахування багатокритеріальності, структурних властивостей дискретних множин, можливих збурень, керованості і невизначеності вхідних даних, що є характерним для багатьох напрямів наукових досліджень та практичних застосувань.

Основні досягнення. У галузі математичних методів оптимізації

Створено нову теорію неперервних задач оптимального розбиття множин n -вимірному евклідовому простору на їх підмножини. Розроблено та обґрунтовано нові підходи до розв'язання детермінованих, стохастичних, лінійних та нелінійних багатопродуктових задач оптимального розбиття множин. Виділено клас динамічних задач розбиття з критерієм оптимальності, який залежить від фазових траєкторій і управління заданої керованої системи. Для розв'язання задач оптимального розбиття множин запропоновано єдиний підхід, в основі якого лежить зведення нескінченновимірних задач оптимізації до скінченновимірних негладких задач максимізації або негладких максимінних задач, а також метод урахування впливу невизначеності на значення критерію оптимальності у випадку, якщо вихідна інформація носить ймовірнісний характер.



Розвинуто класичну теорію оптимізації негладких опуклих функцій, методи якої базуються на зовнішній апроксимації множини екстремумів еліпсоїдами з монотонним зменшенням їх об'єму. Побудовано нові сімейства субградієнтних методів з перетворенням простору для знаходження точки мінімуму опуклої функції при апріорному знанні оптимального значення функції, які мають прискорену збіжність при розв'язуванні задач з яружними особливостями.




Розроблено математичні моделі, алгоритми та програмне забезпечення для задач знаходження пропускних здатностей дуг надійної орієнтованої мережі з передачею потоків як довільними шляхами, так і по заданій множині припустимих шляхів. Розроблено нові методи негладкої оптимізації для знаходження лагранжевих двоїстих оцінок в квадратичних неопуклих задачах. Побудовано нові моделі для задачі мінімізації поліноміальних функцій, задачі про максимальний розріз графу та задачі про максимально незалежну множину вершин графу.

Основні досягнення.

Розроблено нові оптимізаційні методи розв'язання задач планування станів та проектування просторових кінематичних схем **маніпуляційних роботів**, у тому числі методи проектування їх оптимальних структур для виконання завдань з певного класу.

Створено нові чисельні методи і алгоритми автоматичної побудови оптимальних динамічних моделей **маніпуляційних роботів** за критерієм мінімізації обчислювальної складності. Розроблено новий числово-аналітичний підхід до формування рівнянь динаміки у вигляді з явно виділеними складовими сил, що діють на систему. Досліджено проблеми проектування і аналізу множини кінематичних схем, які можуть бути практично реалізовані, а також досліджено вплив кожної складової частини рівнянь динаміки на обчислювальну складність всієї системи.



Для вирішення проблеми керування рухом маніпуляційних роботів **розроблено координаційний підхід**, який полягає у виділенні найбільш суттєвих елементів рівнянь динаміки з метою їх використання для синтезу і аналізу систем керування. Розроблено алгоритми геометричної, кінематичної та динамічної координації, адаптації і побудови законів руху та ефективний метод планування просторових рухів маніпуляційних роботів у середовищі з обмеженнями, як аналог процедур навчання та прийняття рішень для виконання маніпуляцій і локомоцій вищих організмів.

Основні досягнення.

У галузі математичних методів дослідження складних космічних конструкцій

Створено методологію побудови математичних моделей процесів та систем, що спрямована на оптимізацію проектування, моделювання, формування рівнянь руху, керування, оцінювання параметрів і станів об'єктів з урахуванням експериментальних і статистичних даних.



Розроблено теорію математичного моделювання, оптимальної фільтрації та оптимального керування елементами і системами великих космічних конструкцій з лінійними та нелінійними характеристиками.

Побудовано нові математичні моделі просторових конструкцій з нелінійностями у просторі станів, запропоновані оригінальні алгоритми оптимального оцінювання станів. Розроблено і доведено до інженерного рівня методи оптимального керування просторовою орієнтацією конструкцій та їх коливаннями. Запропоновано низку методів структурної і параметричної ідентифікації просторових конструкцій та створено відповідні обчислювальні процедури, призначені для використання в режимі реального часу. Розроблено методи моделювання нестационарних нелінійних процесів довільної природи із невизначеностями структурного, статистичного і параметричного характеру.

Основні досягнення.

У галузі математичних методів штучного інтелекту



Запропоновано формальний підхід до проектування штучних імунних систем, який реалізований при розв'язанні задач прогнозування часових рядів значень контрольованих параметрів і змінних. У рамках створеної інформаційно-аналітичної системи технічного діагностування така штучна імунна система використовується при розв'язанні задачі прогнозування технічного стану об'єкта діагностування і задачі опису відсутніх спостережень у вузлах байесової мережі. На основі виконання полігонних і стендових випробувань розроблених методів та відповідного програмно-алгоритмічного забезпечення сформульовано рекомендації стосовно вибору методу збудження конструктивних елементів великих космічних конструкцій з метою отримання інформативних експериментальних даних, необхідних для розв'язання задач структурної і параметричної ідентифікації.

Створено загальну концепцію побудови прикладних систем штучного інтелекту і можливості побудови обчислювальних систем з ймовірнісними алгоритмами перетворення інформації з використанням сучасного математичного апарату систем масового обслуговування. Для обробки експериментальних і статистичних даних, створення адекватних математичних моделей та оцінювання прогнозів в умовах наявності невизначеностей структурного, статистичного і параметричного характеру розроблено нові нейронечіткі методи і моделі на основі спеціальних поліномів та методів оцінювання параметрів.

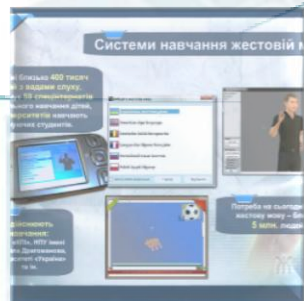
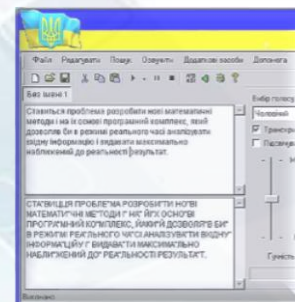


Основні досягнення.



Отримані нові результати по обробці і розпізнаванню голосової інформації та візуальних проявів психоемоційного стану людини. Запропоновано ефективні методи моделювання і розпізнавання обличчя людини, дослідження мімічних проявів та емоційних станів на обличчі людини. Вперше побудовано математичну модель та створено цілісну інформаційну технологію для автоматичного визначення довільного емоційного стану конкретної людини.

Розроблено нові методи аналізу і синтезу голосової мовної інформації. Для вирішення задачі комп'ютерного синтезу розроблено сегментно- конкатенативний метод. Створено інформаційну комп'ютерну технологію озвучення довільних текстів українською мовою та розроблено автоматизовану комп'ютерну систему перетворення вхідної голосової мовної інформації у текстову.



Вперше в Україні розроблено унікальну інформаційно-комунікаційну технологію для моделювання та вивчення української жестової мови. Технологія включає перетворення текстів українською мовою в їх аналоги на мові жестів, аналіз і синтез міміки і артикуляції губ, просторове моделювання рухів жестової мови і дактильної абетки тривимірної моделі людини, відображення процесу промовляння.

Теоретичні засади моделювання складних процесів і систем покладені в основу вирішення фундаментальних прикладних проблем, що досліджувались в рамках державних науково-технічних програм на замовлення міністерств і відомств України, а також отримали матеріально- технічну і фінансову підтримку закордонних фондів, програм та організацій.

Практична значущість одержаних результатів

Техніко-
економічні
показники.

За оцінками фахівців, економічний ефект від застосування результатів робіт складає понад 80 млн. грн.



Отримані фундаментальні результати в області розробки нових математичних методів аналізу даних та теорії коректності векторних задач дискретної оптимізації дозволяють адекватно розробляти, аналізувати та розв'язувати оптимізаційні задачі в економіці, техніці, керуванні технологічними процесами, біології, медицині, генетиці, комп'ютерних науках та ін. Вони можуть бути використані як основа при прийнятті рішень, зокрема, в теоретико-економічних дослідженнях при математичному моделюванні перехідних процесів в економіці України та визначенні нових закономірностей функціонування як економіки в цілому, так і її окремих складових, а також у ході прийняття складних управлінських рішень.

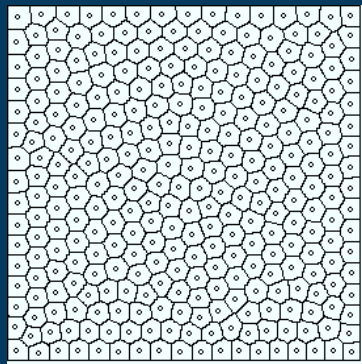
Інформаційні технології, які базуються на створеному математичному апараті теорії неперервних задач оптимального розбиття множин та відповідному програмному забезпеченні, дозволяють ефективно розвивати один з пріоритетних напрямів інформатики – інтелектуальні інформаційні технології і системи. Це теорія розпізнавання образів (чітких та нечітких), кластеризації, класифікації; теорія статистичних рішень; теоретичні задачі оптимізації, які зводяться до задач оптимального розбиття множин, а саме:

- задачі глобальної оптимізації;
- побудови оптимальних квадратур;
- неперервні задачі кульового покриття;
- задачі стохастичного програмування та інші.

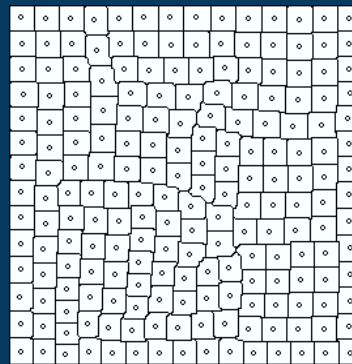
Практична значущість одержаних результатів

Одержані теоретичні результати теорії оптимального розбиття множин дають змогу вирішити проблему розпізнавання для достатньо великої кількості образів та довільної вимірності простору ефективно знаходити розділяючі гіперповерхні.

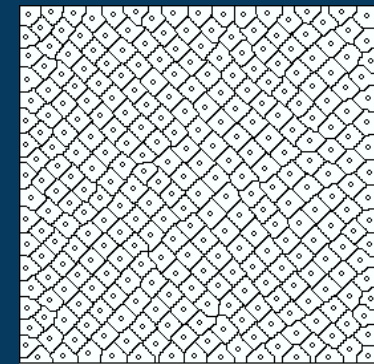
Нижче зображені розв'язання задач розпізнавання образів з відшукуванням координат центрів образів за допомогою розроблених алгоритмів.



**Евклідова метрика
(300 образів)**



**Метрика Чебишева
(200 образів)**



**Манхеттенська метрика
(300 образів)**

Практична значущість одержаних результатів



Створена теорія може бути застосована для розв'язання наступних практичних задач:

- розпізнавання образів з метою мінімізації середньої функції втрат від хибного розпізнавання, медичної діагностики, територіального планування сфер обслуговування;
- геологічного прогнозування; охорони навколишнього середовища, наприклад, задача забезпечення екологічної безпеки під час розміщення відстійників радіоактивних відходів атомних електростанцій з урахуванням екологічної структури регіону; розміщення підприємств, станцій швидкої допомоги, базових станцій стільникового зв'язку, нафтових свердловин;
- нескінченновимірні транспортні задачі та задачі розміщення підприємств;
- задачі проектування мереж зі штучних супутників землі для контролювання діапазону кругових орбіт;
- задачі підвищення обороноздатності та забезпечення національної безпеки країни та багато інших.



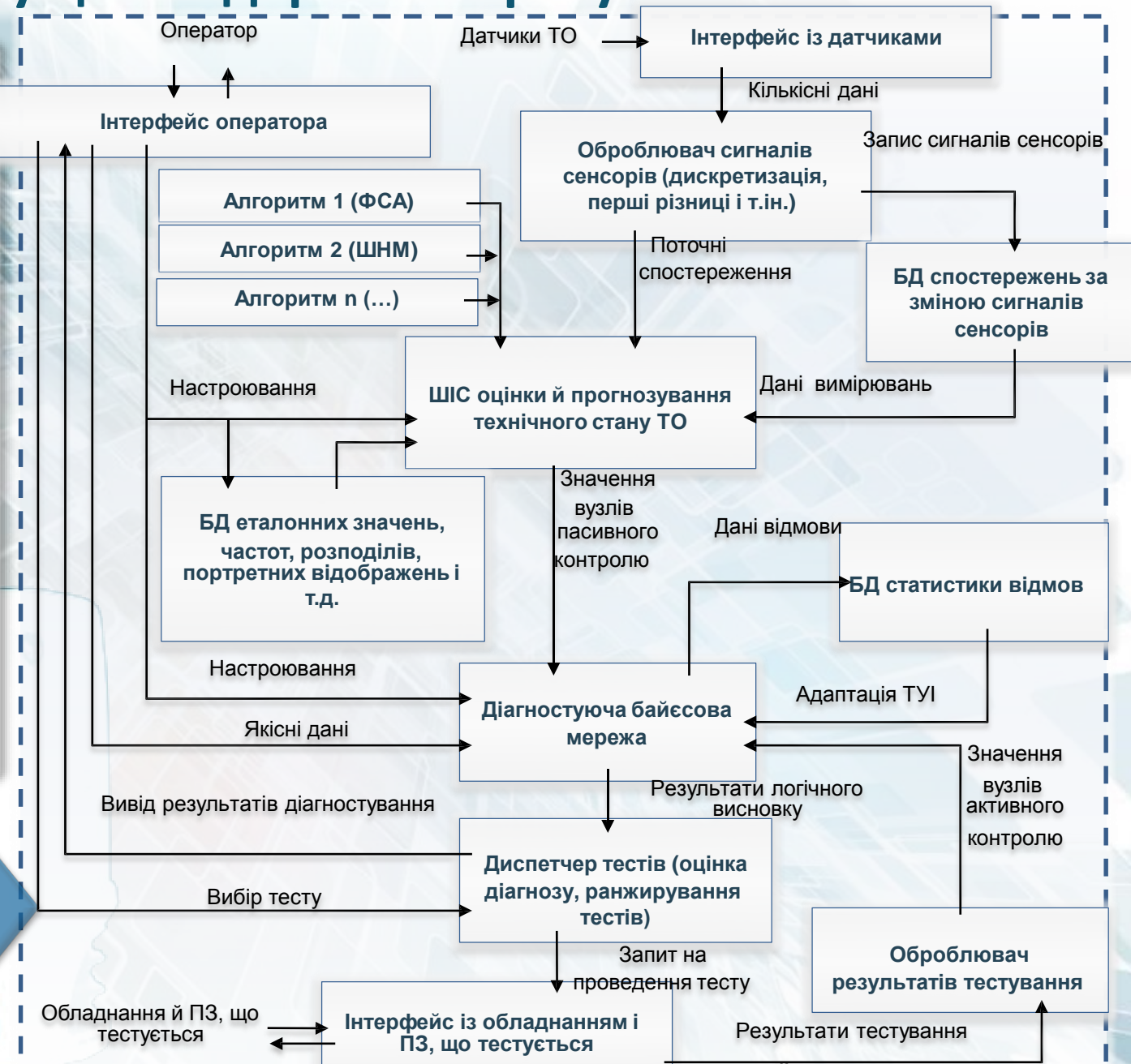
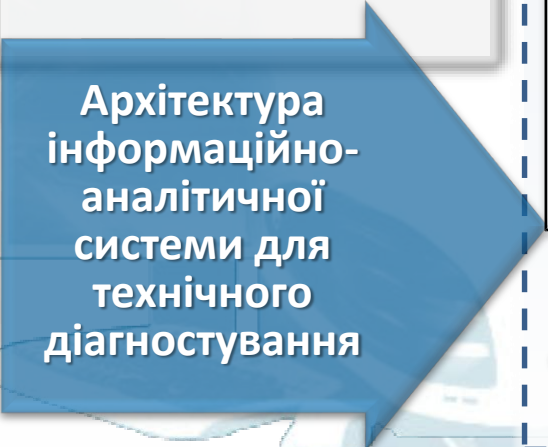
Створення оригінального математичного апарату для дослідження турбулентних потоків в'язкої нестисливої рідини, механічних ефектів квантової механіки, ефектів, пов'язаних з розповсюдженням вібро-, гідро-, сейсмоакустичних хвиль, граничних режимів еволюційних процесів в теорії передачі сигналів, теорії надпровідності, хімічної кінетики, гідродинаміки, математичної біології та економіки, а також створення конструктивних методів адаптивного керування розподіленими системами, має велике значення для аналізу та прогнозування небезпечних природних і техногенних явищ, складних технологічних та соціо-економічних процесів.



Створення унікальної інформаційної технології для моделювання та вивчення української жестової мови має велике соціальне значення, оскільки дозволяє активно впроваджувати її вивчення та використання, розширюючи таким чином можливості соціальної адаптації людей з вадами слуху.

Практична значущість одержаних результатів

Розроблення системи автоматичної діагностики судових енергетичних установок складних енергетичних систем дало можливість суттєво підвищити якість їх діагностики та розв'язати проблеми, пов'язані з високою розмірністю процесів, неповнотою і зашумленістю даних.

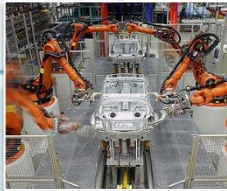


Впровадження



Теорія та методи оптимального розбиття множин знайшли використання для розв'язання нових класів теоретичних задач оптимізації та для моделювання складних процесів територіального планування сфери обслуговування, оптимального розміщення підприємств, оптимального покриття, складського планування, класифікації, кластеризації, розпізнавання образів та ін. Методи нечіткої класифікації застосовані при проектуванні технологічних ланок устаткування підземних гідротехнічних систем при розробленні корисних копалин в умовах шахти «Ольхова Західна». Результати розв'язання задач оптимальної фільтрації, структурно- параметричної ідентифікації та синтезу систем керування для просторових космічних конструкцій впроваджено в системах наземних натурних випробувань елементів космічних конструкцій, в системах імітаційного моделювання орбітального руху космічних апаратів спеціального призначення для синтезу систем керування маневром, орієнтацією та приборканням коливань (науково-виробничий концерн «Енергія»).

Результати ймовірно-статистичного моделювання впроваджено в банківській системі України для розв'язування задач оцінювання кредитоспроможності позичальників, в системах технічної діагностики електрообладнання малих і середніх суден річкового флоту України, в системах коротко- і середньострокового прогнозування процесів екологічного характеру.



Результати щодо вирішення проблем планування станів, керування та оптимального проектування маніпуляційних роботів впроваджено у системі керування промисловим маніпуляційним роботом.

Результати з розроблення нових методів аналізу, розпізнавання й синтезу аудіо і відео інформації впроваджені в рамках ДНТП „Образний комп'ютер”, зокрема інформаційна комп'ютерна технологія розшифровки стенограм, комп'ютерна технологія для озвучення довільних текстів українською мовою, комп'ютерна технологія моделювання і розпізнавання емоцій і міміки на обличчі людини, інформаційна комп'ютерна технологія моделювання української жестової мови. Практична значущість отриманих результатів підтверджується актами про впровадження, патентами, свідоцтвами про реєстрацію авторських прав на твір та створенням сучасних інформаційних технологій світового рівня.



Впровадження



Подані наукові результати одержали наукове визнання у світі. Цей факт підтверджують наукові публікації у провідних наукових журналах таких, як **“Journal of Differential Equations”**, **“Journal of Mathematical Analysis and Applications”**, **“System Research and Information Technologies”**, **“Applied Mathematics Letters”**, **“Set-Valued and Variational Analysis”** та ін.. монографії, в тому числі і видані за кордоном, а також численні пленарні виступи у провідних навчальних та наукових світових центрах на більш ніж **400 міжнародних наукових конференціях та семінарах**, а також численні гранти від міжнародних наукових організацій та фондів для підтримки зазначених досліджень.

Безпосередньо
авторами та під
їх керівництвом
захищено

11 докторських

та понад 55
кандидатських
дисертацій.

Наукові статті циклу опубліковано у реферованих високорейтингових наукових виданнях, з них **209 статей** опубліковано у журналах з імпакт-фактором.

Згідно наукометричної бази Scopus, загальна кількість посилань становить **359**, h-індекс: **9**; згідно наукометричної бази Google Scholar Citation, загальна кількість посилань становить **1256**, 110-індекс - **19**, h-індекс - **15**.

Наукова робота висувається на здобуття Державної премії України в галузі науки і техніки вперше.



Створено системний підхід до математичного та комп'ютерного моделювання, розробки конструктивних методів оптимізації та інтелектуального аналізу даних, який дозволив розвинути, теоретично узагальнити і з єдиних наукових позицій вирішити численні наукові проблеми, пов'язані зі створенням якісно нових ефективних методів дослідження складних технічних та соціо-економічних процесів, стимулювати розвиток прогресивних інтелектуальних інформаційно-комунікаційних технологій та просувати створені в Україні оригінальні технології на міжнародний інформаційний ринок.