Космічна наука і технологія. 1998. Т. 4, № 4. С. 3–20.

УДК 681

Інформаційні технології і системи в космічних дослідженнях: стан і перспективи

В. В. Грицик

Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури Національної академії наук України, Львів

Надійшла до редакції 11.05.98

Висвітлено результати основних фундаментальних та прикладних розробок, проведених в галузі інформаційних технологій і високопродуктивних обчислювальних систем для космічних досліджень, які виконувались у рамках секції інформатики Державного Західного наукового центру НАН України і Міністерства України у справах науки і технологій. Зроблено огляд основних наукових праць, розглянуто стан і перспективи досліджень та розробок, їх місце у світовій науці.

ВСТУП

Здобутки вчених Державного Західного наукового центру НАН України і Міністерства України у справах науки і технологій (ЗНЦ) у дослідженні космосу є важливими для розробки принципово нових інформаційних технологій і високопродуктивних систем відбору, обробки, передачі і зберігання даних, отримані в рамках фундаментальних та прикладних розробок і реалізації важливих державних науково-технічних програм, міжнародних космічних програм і проектів, численних замовлень державних органів, підприємств та установ, що виконувались під керівництвом провідних вчених, спеціалістів та фахівців широкого профілю упродовж останніх десятиріч. Деякі з цих результатів опубліковані в узагальнюючій п'ятитомній монографії «Паралельна обробка інформації» [76–80], в інших монографіях, статтях та авторських свідоцтвах.

На базі Секції інформатики ЗНЦ були започатковані всесоюзні школи-семінари «Розпаралелювання обробки інформації» (1977), проведені міжнародні конференції «Інформаційні технології і системи» (1981), «Математичні методи в аналізі, сприйнятті та розпізнаванні образів», «Автоматика-95» (1995), ряд всесоюзних семінарів і нарад, де вагомий науковий внесок був здійснений у напрямку дослідження космічних глибин.

1998 рік знаменний святкуванням 80-х роковин Національної академії наук України. У даній роботі висвітлена частка вкладу наукових шкіл в галузі інформатики Західного наукового центру Національної академії наук України у світові дослідження космічних глибин. У галузі інформатики Західного наукового центру НАНУ і Міннауки України започаткували принципово нові напрямки досліджень, і тому слід відзначити відповідні традиції та здобутки вчених Академії наук. Тут працювали відомі вчені і фундатори інформатики академік АН СРСР А. А. Харкевич, член-кореспондент АН СРСР К. Б. Карандеєв, академік АН УРСР М. М. Шумиловський, член-кореспондент АН УРСР В. М. Михайловський.

1. ТЕОРІЯ СИГНАЛІВ В АНАЛІЗІ ТА ОПРАЦЮВАННІ КОСМІЧНИХ ДАНИХ ПРО ПРИРОДНІ ЯВИЩА, СКЛАДНІ ПРОЦЕСИ І УПРАВЛІННЯ

Енергетична концепція. Потреби дослідження явищ у космічних глибинах у багатьох галузях природознавства стимулювали, а вже набутий досвід фундаментальних досліджень дозволив розвинути підхід до вивчення одного з аспектів передавання відомостей (інформації) з довкілля до об'єктів.

Драганом Я. П. створена наукова школа, пов'язана з розробкою енергетичної теорії стохастичних сигналів. Ця теорія дала засоби для відкриття багатьох нових фактів, можливість пов'язати їх з розрізненими відомими поняттями, узагальнити їх в одній теоретичній схемі та виявити справжню фізичну й математичну природу. Водночас вона дала обгрунтовані засоби практичних застосувань в космічних дослідженнях і при розв'язанні практичних задач, що втілені у відповідних проблемно-орієнтованих інформаційно-обчислювальних технологіях і спецпроцесорах.

Я. П. Драганом і його учнями вивчено характер ритмічності (стохастичної повторюваності) геофізичних полів, сонячно-місяцевих впливів і відхилень, зумовлених сонячною активністю та синоптичними явищами [60, 61]. Розглянуто аналітичні проблеми опису ритміки і стохастичних коливань, що привело

© В. В. ГРИЦИК, 1998

до усвідомлення потреби побудови їх моделей у вигляді відповідних типів випадкових процесів, коли ритміку визначає характер зміни їх імовірнісних характеристик.

Результати аналізу емпіричних даних стали аргументами при обгрунтуванні використання періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП) як моделі простої ритміки, що ставило, у свою чергу, проблему вироблення засобів статистичного аналізу таких процесів і створення загальної концепції ритміки як стохастичного коливання. Для цього Я. П. Драганом глибоко вивчено цей клас випадкових процесів. Було встановлено як властивості їхніх двочастотних спектральних мір (кореляції гармонічних складових), так і вираз їх через стаціонарні компоненти, тобто у вигляді ряду стаціонарних пов'язаних випадкових процесів, модульованих гармоніками, кратних до основної частоти. Основну частоту задає період корельованості.

Я. П. Драган дослідив майже- та поліперіодично корельовані випадкові процеси, що служить моделями кратної ритміки природних явищ. Зокрема, біперіодично корельовані як моделі подвійної ритміки служать для опису групової структури хвиль та добово-сезонних змін характеристик метеорологічних явищ.

Паралельно з фундаментальними теоретичними дослідженнями розроблялись і прикладні питання їх застосувань і досить часто власне практичні потреби ставили вимоги до теоретичних досліджень, стимулювали їх.

Отримані результати та розвинуті методи імовірнісного опису і статистичного аналізу (до комп'ютерних програм включно) покладені в основу створення проблемно-орієнтованих інформаційно-обчислювальних технологій і спецпроцесорів у багатьох галузях науки та практичного використання. Серед них реалізовані у виконанні для ІЗМІРАН апаратурі дослідження навколоземного простору (гальмівного опромінювання авроральних часток у верхніх шарах атмосфери) [58, 59], а також у системі стабілізації режиму складного процесу, коли носієм відомостей є стохастично збурена поверхня, а відбір відомостей реалізується її лазерним зондуванням [130].

Важливим ключовим здобутком Я. П. Драгана та його школи у розглянутій галузі є створення як висліду синтезу результатів досліджень, що велись упродовж багатьох років на підставі розвинутих і стисло сформованих вище ідей, енергетичної теорії стохастичних сигналів (ЕТСС).

ЕК у теорії випадкових процесів дала змогу пов'язати багато відомих розрізнених її результатів, установити багато надзвичайно глибоких нових фактів, узагальнивши їх в одній теоретичній схемі та виявити справжню їх фізичну і формально математичну суть. Базована на ній теорія — ЕТСС стала могутнім знаряддям як теоретичних досліджень, так і обгрунтування практичних застосувань, які здобули визнання серед науковців. ЕТСС є далекосяжним узагальненням, доповненням і логічним завершенням класичної спектрально-кореляційної теорії випадкових процесів. Вона відкриває нові можливості практичних застосувань її здобутків у космічних дослідженнях, вивчення природних явищ, процесів [55, 57–61, 130–132].

Інформаційні сигнали та їх використання для побудови інформаційно-вимірювальних систем у космічних дослідженнях. Прагнення одержати ще більше відомостей про космічні глибини, довкілля, складні процеси, будову речовини, властивості матеріалів, середовищ, об'єктів, систем тощо, стимулювало проведення досліджень з виявлення нових можливостей відбору інформативних параметрів.

Р. Ф. Федорівим проведені дослідження з теорії інформаційних сигналів та їх використання для побудови інформаційно-вимірювальних систем. Роботи відносяться до проблем фундаментальних та прикладних досліджень стохастичних сигналів і систем. У цьому напрямку вперше відображені результати досліджень інформаційних сигналів та їх використання для побудови інформаційно-вимірювальних та обчислювальних систем [109, 111], що мають широке застосування у космічних дослідженнях.

Цим проблемам присвячено багато робіт з фізики газового розряду, експериментальної ядерної фізики, фотометрії, статистичної гідроакустики, теорії та практики інформаційно-вимірювальних систем, метрології.

У плані інтенсивних досліджень носіїв відомостей — сигналів Р. Ф. Федорівим проведені дослідження з виявлення нових можливостей відбору вимірювальної інформації (інформативних параметрів) за рахунок розкриття особливостей у структурі сигналів. Такою особливістю є імпульсний характер потоків енергії у вигляді електромагнітних та пружних коливань, які для більшості випадків є носіями відомостей. Тривалість імпульсних ефектів приблизно $10^{-8}-10^{-10}$ с. Тому ця властивість сигналів через інерційність радіоелектронних приладів практично не використовувалась.

Наступним важливим фактором є перетворення потоків енергії в електричний сигнал. У класичному варіанті поріг чутливості визначається рівнем теплових шумів. Перетворення імпульсних потоків енергії на порогових ефектах у потоки подій дозволяє у наведеному розумінні на декілька порядків покращити співвідношення сигнал/шум [110].

Досліджено фізику порогових ефектів та зв'язок імовірності настання подій з енергією вхідного сигналу. Запропоновано ідею та обгрунтовано моделі сигналів (потоків подій) у вигляді сукупності послідовностей однорідних інформаційних елементів. На відміну від класичних сигналів ослаблення означає безповоротну втрату інформаційних елементів.

Введено поняття інтервалу квазіергодичності як апріорної передумови статистичного перетворення сигналів [110].

Р. Ф. Федорівим розроблено основи теорії певного класу інформаційних сигналів. Досліджено їх властивості, проведено класифікацію, запропоновано два представлення сигналів: часове та поелементне. Досліджено можливості впливу на тривалість інтервалу квазіергодичності при реалізації відбору вимірювальної інформації.

Досліджено результати статистичного перетворення сигналів з метою їх очищення при відборі інформації, з метою зменшення обсягу при передачі і з метою оцінювання числових характеристик, їх відношення та різниці. Запропоновано нові та дано класифікацію відомих методів статистичного перетворення, отримано явні аналітичні вирази для законів розподілу, статистичної помилки та інерційності результатів перетворень [54].

Представлено алгоритми статистичного та функціонального перетворення сигналів у вигляді стохастичних, в загальному випадку нелінійних диференціальних та різницевих рівнянь. На цій основі розвивається спільний математичний апарат для опису алгоритмів і опису функціонування динамічних систем першого порядку, які по суті є спеціалізованими обчислювальними пристроями статистичної оцінки та функціонального перетворення сигналів.

Розроблено методику синтезу алгоритмів перетворення за заданою функцією від числових характеристик інформаційних сигналів. Оскільки задача синтезу має багато розв'язків, то запропоновано метод цілеспрямованого синтезу алгоритмів оптимальних відносно наперед заданих критеріїв (статистична помилка, інерційність перетворення та ін.) [113].

Розроблено спеціалізовані обчислювальні пристрої оцінювання числових характеристик інформаційних сигналів: оцінювання характеристик істинної інтенсивності у радіометричному та спектрометричному каналах, відношення та різниці інтенсивностей, оцінювання інтервального часу, коливних швидкостей та ін.

Р. Ф. Федорівим і його учнями розроблені системи автома-

тичного керування за інформаційними сигналами: системи автоматичної стабілізації енергетичної шкали гамма-спектрометричної апаратури, системи автоматичного пошуку, виділення та відбору початку відліку хвильової картини сигналу акустичного зонда, системи «сліпого» супроводу штучних небесних тіл.

Запропоновані системи автоматичного керування фактично забезпечили якісний відбір інформації при реалізації кількісного аналізу елементного складу недоступних середовищ методами ядерної спектрометрії, реалізували динамічний акустичний каротаж, реалізувати реєстрацію світлових образів практично невидимих штучних небесних тіл.

Розроблено комплекс інформаційно-вимірювальних систем для автоматизації наукових досліджень.

Під керівництвом Р. Ф. Федоріва створено комплекс фотометричних систем відбору та обробки інформації та розроблено генератори інформаційних сигналів із зразковими числовими характеристиками для метрологічного забезпечення створених інформаційно-вимірювальних систем [4, 7, 21, 23, 24].

Адаптивна цифрова обробка сигналів для побудови високоефективних космічних бортових систем та спецпроцесорів реального часу. При проведенні багатьох фізичних експериментів у верхніх шарах атмосфери і космічному просторі, які мають важливе наукове та прикладне значення, досліджують параметри випадкових фізичних полів — електричних і магнітних, а також параметри потоків енергійних часток. Під їх впливом на виходах відповідних первинних вимірювальних перетворювачів (давачів) формуються випадкові електричні сигнали — неперервні і у вигляді послідовностей імпульсів.

Обробка таких сигналів під час або після експерименту необхідна для побудови та уточнення моделей відповідних фізичних полів. Стосовно обох видів сигналів вона різна. Для неперервних сигналів обробка найчастіше полягає у цифровій фільтрації, кореляційному аналізі, дискретному перетворенні Фур'є (ДПФ), стиску даних. Для випадкових послідовностей імпульсів знаходять енергетичний спектр, часові зміни інтенсивності послідовності, здійснюють ідентифікацію імпульсів та їх корекцію. При комплексних експериментах досліджуються стохастичні взаємозв'язки також і між цими двома видами випадкових сигналів.

Для дослідження фізичних полів в навколоземному просторі і трансмісії одержаних даних застосовують бортові системи. В складі останніх містяться давачі вимірюваних фізичних величин, апаратура обробки їх вихідних сигналів та телеметричні системи. В результаті бортових вимірювань одержують великі масиви даних, які в ряді випадків неможливо передати в реальному часі на землю в зв'язку з обмеженою пропускною здатністю телеметричних систем. Тому обробку таких даних найчастіше здійснюють на борту, а на землю передають лише її результати. Це дозволяє не тільки суттєво розвантажити телеметричні системи, але і автоматизувати процес проведення наукових досліджень, зменшити час наземної обробки з одночасним збільшенням надійності вимірів в цілому. Специфікою бортових систем безпілотних літальних апаратів є неможливість доступу до них оператора для ручної калібровки, наладнання, ремонту та складність оперативного втручання людини в процес експерименту на основі даних обробки.

Бортова обробка сигналів ускладнюється їх випадковим нестаціонарним характером, широкою смугою займаних частот, наявністю лише мінімальних апріорних відомостей та необхідністю одержання результатів в режимі реального часу. Нестаціонарність випадкових неперервних сигналів, які мають місце в процесі фізичних досліджень, проявляється в непостійності середнього значення, дисперсії та залежності кореляційних функцій від часу на окремих інтервалах реалізації, а імпульсних послідовностей — у змінності інтенсивності процесу, її різких змінах: мікросплесках та бухтах інтенсивності.

Вказані фактори, а також високі вимоги до надійності, економічності та масо-габаритних показників бортової апаратури передбачають вибір методів обробки сигналів та принципів побудови бортових систем, відмінних від використовуваних для побудови наземних. За допомогою відомих методів обробки випадкових сигналів і існуючої бортової апаратури не можуть бути розв'язані все нові задачі, що цікавлять експериментаторів і виникають при вивченні тонкої структури випадкових фізичних полів і стохастичних зв'язків різних фізичних явищ.

У світових розробках з адаптивної цифрової обробки випадкових сигналів в реальному часі з використанням дельта-модуляції отримані вагомі результати. У даному огляді розглянуто вклад школи В. О. Погрібного у напрямку космічних досліджень, що пов'язані із застосуванням дельта-модуляції. В. О. Погрібним започатковано новий напрям досліджень і створена наукова школа з адаптивної цифрової обробки сигналів, де вперше розроблено методи та технічні засоби високопродуктивної адаптивної цифрової обробки одно- та двовимірних випадкових сигналів в реальному часі на підставі дельта-модуляції та принципи побудови відповідних бортових спецпроцесорів для автоматизації наукових досліджень і телекомунікації для постановки космічних експериментів [81, 84, 93, 95, 96, 99].

Для підвищення ефективності цифрової обробки в реальному часі подібних сигналів, з урахуванням вимог до бортових систем, доцільно використати адаптивні різницеві підходи в тому числі дельта-модуляцію (ДМ) в адаптивних методах і алгоритмах цифрової фільтрації, кореляційного аналізу, ДПФ та екстремального аналізу, а також спеціалізовані процесори на їх основі. Вони порівняно з універсальними процесорами більш швидкодіючі, економічніші, надійніші та технологічніші в плані виготовлення у вигляді великих інтегральних схем, орієнтованих на розв'язання конкретних задач, часто з розпаралелюванням математичних операцій.

Роботи з створення нових ефективних методів і засобів цифрової обробки одно- та двовимірних випадкових сигналів на основі різниць, які забезпечують високу роздільність бортової обробки в режимі реального часу і трансмісію одержаних даних в існуючих каналах зв'язку при проведенні фізичних експериментів у навколоземному просторі, виконувалася під керівництом В. О. Погрібного в рамках комплексної програми «Інформаційно-вимірювальні системи для космічних досліджень», затвердженої на рівні АН СРСР та АН УРСР, а також постановами урядів України і колишнього СРСР.

У цьому напрямку В. О. Погрібним та його учнями були створені адаптивні методи дослідження в режимі реального часу випадкових ергодичних локально-стаціонарних неперервних сигналів і імпульсних послідовностей із змінною інтенсивністю з застосуванням ДМ, вибору параметрів ДМ для подання в цифровій формі одновимірних та двовимірних сигналів, способів підвищення роздільної здатності цифрової фільтрації, кореляційного та амплітудно-часового аналізу, дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) сигналів у форматах ДМ на основі вивчення метрологічних особливостей та імітаційного моделювання, створення на основі зазначених методів ефективних спецпроцесорів цифрової обробки сигналів (ЦОС) та телеметричних систем, орієнтованих на бортові фізичні експерименти та автоматизацію досліджень.

Для досягнення поставленої мети В. О. Погрібним і його науковою школою вперше були розв'язані наступні задачі: розроблено загальні підходи до визначення *a priori* частоти дискретизації та кроків квантування ДМ одно- та двовимірних випадкових сигналів; а також моделі ергодичних локально-стаціонарних неперервних випадкових сигналів та методи знаходження локально-стаціонарних інтервалів реалізації і адаптивної обробки таких сигналів в реальному часі; досліджено

моделі та адаптивні методи обробки в реальному часі локально-нестаціонарних потоків випадкових імпульсів із різкими змінами інтенсивності та накладаннями імпульсів; вивчено шляхи застосування ДМ в системах обробки з імпульсно-кодовою модуляцією (ІКМ) [82, 83], розроблено загальний підхід до проведення математичних операцій над кодами ДМ; для цифрової фільтрації одержано загальні вирази для згорток величин, поданих у форматах ДМ-ДМ та змішаних ДМ-ІКМ, а також створено ефективні алгоритми функціонування та методи розрахунку і імітаційного моделювання цифрових фільтрів з ДМ; знайдено загальні вирази кореляційних функцій величин, поданих у форматах ДМ-ДМ [83, 93, 98] та змішаних, у взаємозв'язку різних форматів; досліджено метрологічні особливості кореляційного аналізу довгих і коротких часових рядів в різних форматах, в тому числі в змішаних, а також створено методи імітаційного моделювання та покращення точності кореляційного аналізу коротких рядів у форматах ДМ; створено новий вид цифрового подання сигналів — знакову ДМ, розроблено математичні операції на відповідних кодах та на основі цього запропоновано високоефективний кореляційно-спектральний спосіб виявлення в реальному часі коротких (до 30 відліків) періодичних сильно зашумлених сигналів; створено швидкі і економічні алгоритми ДПФ величин, поданих у форматах ДМ-ДМ і змішаних; опрацьовано загальні методи екстремального аналізу неперервних одно- та двовимірних випадкових сигналів на основі різниць і ДМ для ефективного стиску даних, а також точні методи відтворення сигналів після стиску; досліджено амплітудну, часову та інтегральну роздільні здатності екстремального аналізу, розроблено методи його імітаційного моделювання та покращення властивостей; а також адаптивні методи визначення в реальному часі різких змін інтенсивностей потоків випадкових імпульсів, їх енергетичних спектрів, а також корекції накладань імпульсів в реальному часі; розроблено принципи побудови ефективних бортових систем та спецпроцесорів обробки сигналів у реальному часі на основі запропонованих методів та алгоритмів, зокрема з використанням однорідних обчислювальних середовищ;. розроблено економічні методи телевимірювань та завадостійкої, точної і з підвищеною пропускною здатністю трансмісії даних, поданих у форматі дельта-модуляції; впроваджено одержані результати через створення принципово нової апаратури з новими покращеними властивостями та програмного забезпечення однорідних обчислювальних середовищ для обробки випадкових сигналів та передавання одержаних даних, орієнтованої на наукові бортові експерименти в космічному просторі та автоматизацію досліджень.

Основним методом, який використовувався в цих дослідженнях, був адаптивний. Це пов'язано з тим, що бортова обробка нестаціонарних випадкових сигналів найефективніше здійснюється за допомогою адаптивних методів. При цьому цифрову обробку доцільно реалізувати на підставі ДМ, яка за своїм принципом є адаптивним видом цифрового подання, і використання якої, крім того, забезпечує економічні реалізації спецпроцесорів. Дані, одержані на підставі обробки, доцільно передавати за допомогою адаптивних телеметричних систем з підвищеною пропускною здатністю.

В. О. Погрібним і його учнями розроблено нові методи підвищення надійності [86] і пропускної здатності цифрових телеметричних систем з безнадлишковими кодами на основі: вибору кодових комбінацій шумоподібних синхросигналів в залежності від довжин слів і кадрів, критерію розпізнавання спотворених завадами шумоподібних синхросигналів та на виявленні збоїв [91] в повідомленнях з тактовою самосинхронізацією через порівняння відповідних часових інтервалів [92].

Вперше розроблено фундаментальні підходи до визначення *a priori* основних параметрів дельта-модуляції — частоти дискретизації, кроків квантування і розрядності ДМ-кодів — одновимірних випадкових сигналів та нерухомих і рухомих зображень на основі спектрів потужностей або амплітудних спектрів попередніх реалізацій [91, 94, 98]; запропоновано нові моделі ергодичних локально-стаціонарних та локально-стаціонарно пов'язаних неперервних випадкових сигналів, а також точні і швидкі методи знаходження біжучих локально-стаціонарних інтервалів реалізації з використанням аналізу процесу на ковзно-дискретних вікнах його реалізації, засновані на дослідженні змін оцінок середнього і дисперсії процесу у вказаних вікнах відносно аналогічних його характеристик на адаптивно змінних довірчих інтервалах реалізації, спрямовані на високоефективну адаптивну обробку таких сигналів в реальному часі [148]; вперше побудовано модель потоків енергійних часток у вигляді локально-нестаціонарних потоків випадкових імпульсів із різкими змінами («мікросплесками» так «бухтами») інтенсивності відносно середньої і накладаннями імпульсів, яка стала основою створення високоефективних адаптивних методів обробки таких сигналів [88]; розроблено принципово нові структури адаптивних спецпроцесорів для цифрової фільтрації [92, 96], кореляційного та екстремального аналізу, ДПФ випадкових сигналів у реальному часі на основі запропонованих різницевих методів та алгоритмів, зокрема з однорозрядною ДМ і з розпаралеленням операцій, доцільних для мультиконвеєрних систем і однорідних обчислювальних середовищ [89, 97, 148].

Виконані теоретичні та прикладні дослідження стали основою створених вперше принципово нових ефективних бортових систем для цифрової обробки випадкових неперервних сигналів і імпульсних послідовностей та трансмісії одержаних даних для космічних та стратосферних експериментів, що відрізняються від розроблених раніше пристроїв аналогічного призначення розширеними функціональними можливостями, покращеними метрологічними, масо-габаритними та енергетичними характеристиками [85, 87, 147].

Практична цінність роботи полягає в тому, що одержані результати сприяють створенню адаптивної бортової апаратури для вивчення в режимі реального часу випадкових електричних і магнітних полів та потоків енергійних часток в верхніх шарах атмосфери і космічному просторі, а також телеметричних систем для трансмісії даних. Вони дозволяють ставити нові та поглиблювати традиційні задачі, що стосуються методів дослідження і обробки випадкових нестаціонарних ергодичних сигналів та полів.

Запропоновані методи, алгоритми і принципи побудови інформаційно-вимірювальних систем можуть бути використані при реалізації апаратури для бортових океанологічних досліджень, наземних сейсмостанцій та ядерної енергетики.

2. РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ТА ВИСОКОПРОДУКТИВНА ОБРОБКА КОСМІЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ СИНТЕЗУ БОРТОВИХ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ ТА СПЕЦПРОЦЕСОРІВ

Розпаралелювання обчислювальних процесів в обробці космічних даних. У циклі праць з розпаралелювання обчислювальних процесів в обробці космічних даних проведено фундаментальні та прикладні дослідження з вивчення питань, пов'язаних з організацією паралельної обробки даних з метою підвищення продуктивності обчислювальних систем і мінімізацією часу розв'язування задач. Розпаралелюванням програм і процесів активно займаються з початку 1970-х років. Роботи проводились як для універсальних моделей та постановок задач, так і для конкретних проблемних областей. Найвидатнішими дослідниками по даній проблематиці є Лемпорт Л., Келлер Р., Поспєлов Д. А., Котов В. Є. та ін. Однак характерним

є те, що дослідження і результати українських вчених по тематиці паралельної обробки, які проводились в рамках різних підходів і формальних систем (Глушков В. М., Летичевський А. А., Капітонова Ю. В., Халілов А. І., Ющенко Е. Л., Цейтлін Г. Е. та ін.), зовсім не поступалися, а в багатьох випадках мали переваги над досягненнями інших шкіл. На сьогодні ситуація не змінилась. Серед вчених Західного наукового центру НАН України у цьому напрямку вагомі результати отримали Вальковський В. О., Деркач Б. Т., Кисіль Б. В., Олексів Б. Я., Калиняк І. Н., Розгоні Ю. І., Кожан В. П., Опотяк Ю. В. та ін. [76–80]. Введено та вивчено різні моделі паралельних програм і систем, орієнтовані на різні способи реалізації і різні застосування. Для них формалізовано та уточнено варіанти задач максимального розпаралелювання та розроблено відповідні алгоритми, призначення яких — перетворити вихідну послідовну алгоритмічну конструкцію в максимально паралельну конструкцію, яка буде еквівалентною до вихідної. Отримана паралельна конструкція може представляти апаратно реалізовану систему, програму або безпосередньо паралельне обчислення, яке генерується в динамічному режимі. Запропоновано методи інтелектуалізації процесу отримання паралельної конструкції, зокрема, методи синтезу паралельних програм і систем за специфікаціями непроцедурного типу на основі формального опису предметної області. В цілому, комплекс пропонованих результатів можна охарактеризувати як теорію синтезу паралельних програм і систем.

Що стосується конкретних результатів, то, зокрема, В. О. Вальковським були доведені теореми, які створюють необхідні та достатні умови існування алгоритму максимального розпаралелювання в заданому класі схем. Використовуючи ці умови, вдалося побудувати такі алгоритми для ряду класів схем, наприклад, для вільних кінцевих схем та вільних лічильних схем. Для інших класів схем, зокрема, для класу стандартних схем, доведений факт неіснування такого алгоритму. Результати представлені в монографіях, учбовому посібнику, а також в ряді статей [34–45].

В рамках запропонованого підходу В. О. Вальковським був також побудований так званий алгоритм абсолютно-максимального розпаралелювання, який, у певному сенсі, є граничним при розв'язку задачі максимального розпаралелювання.

Характер обробки інформації бортовими обчислювальними комплексами такий, що обчислення, які проводяться, є вкладеними циклами. В плані розпаралелювання такого типу циклів нами узагальнено підхід Лемпорта та розроблено два оригінальних методи розпаралелювання: метод паралелепіпедів та пірамід. Перший орієнтований для реалізації на обчислювачах загального вигляду, в той час як другий — на реалізацію автономними незалежними гілками в обчислювальних системах з роздільною пам'яттю.

Низка результатів має яскраво виражену практичну орієнтацію для обробки космічних даних. Предметом досліджень в працях цієї групи є проблема конвеєризації обчислень, причому в основному на рівні машинного коду. Суть проблеми в тому, що, якщо реалізуючий конвеєрний процесор (в даному конкретному випадку — трансп'ютер) має глибину конвейєра h, то дистанція між залежними командами в машинному коді не може бути меншого ніж h. Якщо ж дистанція менша, то її слід «заповнити» іншими незалежними командами або, в крайньому випадку, порожньою операцією. Звідси виникає проблема максимального «ущільнення» машинного коду. В працях В. О. Вальковського і його учнів запропоновано алгоритми оптимізації машинного коду взагалі і субоптимальні алгоритми його ущільнення, зокрема. Порівняно ці алгоритми з іншими відомими алгоритмами, яке виявило перевагу перших. Якість розроблених алгоритмів визначається в першу чергу тим, що вони використовують ідеї елімінації неіснуючих залежностей між операціями, які реалізуються в методах розпаралелювання.

Отримано важливі результати в галузі клітинних автоматів. Розглянуто спектр питань, пов'язаних з реалізацією арифметичних обчислень засобами різних автоматичних правил і в різних системах кодування. Доведено коректність пропонованих систем правил. Описано методи реалізації складних арифметичних виразів, в тому числі масових обчислень. Задачу розв'язано також в умовах відмови деяких комірок автомата. Розроблено програмну систему моделювання роботи клітинних автоматів та аналізу їх якості [43]. Універсальні клітинні автомати характеризуються максимальною простотою елементарних виконуючих пристроїв і «граничною регулярністю» їх з'єднання. Це обумовлює високий ступінь технологічності їх реалізації. Вони здійснюють асинхронну розподілену обробку даних з високим ступенем паралелізму. Нарощуванням робочого поля автомата можна добитися необхідного прискорення обчислення і заданого ступеня надійності. Тематиці клітинних автоматів присвячена одна із статей даного випуску.

Розпаралелювання та синтез високопродуктивних бортових проблемно-орієнтованих систем та спецпроцесорів. Проведено важливі фундаментальні та прикладні дослідження спрямовані на розробку методів паралельної обробки даних і синтезу бортових високопродуктивних проблемно-орієнтованих та спеціалізованих обчислювальних систем [76–80]. Дослідження у цій галузі були започатковані ще у 1970-х роках, з метою створення високопродуктивних структур обробки даних в системах реального часу. Ці розробки особливо важливі для космічних досліджень різних природних процесів; функціонування складних об'єктів, технологічних процесів, ситуацій в умовах, коли можливість участі оператора виключена, інформаційних інфраструктур різних рівнів, де потрібно здійснювати обробку великих масивів швидкоплинної інформації. Пошуки можливостей підвищення швидкодії обробки даних велись у різних напрямках. Теоретичною границею продуктивності послідовної обробки даних вважається обмеження рівня швидкості світла (~ 10^9 оп/с). Разом з тим, практичні вимоги для розв'язування задач у ряді систем реального часу ставили проблему створення обчислювальних структур обробки даних з набагато вищою швидкодією. Одним з перспективних напрямків синтезу високопродуктивних систем обробки даних, є синтез проблемно-орієнтованих або спеціалізованих структур з заданим рівнем розпаралелювання алгоритмів [133–136, 140, 141].

Досліджено класи алгоритмів, що допускають розпаралелювання алгоритмів на заданому рівні. Розглянуто поняття алгоритму з точки зору обчислювальних функцій і досліджено можливість розпаралелювання процесу обчислення функцій відносно функцій із заданого класу. За тезами Тюрінга—Черча проблема обчислення функцій є рівнозначною вияснення її рекурсивності. Тому в теорії алгоритмів рекурсивні означення можна розглядати як алгоритми. При цьому, наприклад, частинно-рекурсивні функції — це клас функцій, який можна отримати з допомогою такої формалізації — представлення у вигляді термів в алфавіті простих функцій та операторів суперпозиції, рекурсії і мінімізації.

Це дало можливість, з однієї сторони, дослідити властивості різних алгоритмів з метою розпаралелювання та вивчити їх внутрішню структуру. З другої сторони — побудувати класи алгоритмів, що допускають розпаралелювання на заданому рівні.

Створено теоретичні основи синтезу високопродуктивних проблемно-орієнтованих і спеціалізованих систем обробки інформації, які відображають принципи ієрархічності, рекурсивності, глибокого розпаралелювання алгоритмів на заданому рівні з метою обробки інформації в темпі її надходження.

Отримано найбільш загальні термальні представлення моделей і алгоритмів, що відображають ієрархічність складних задач на різних рівнях. Ці представлення властиві для алгоритмів, з допомогою яких можна легко описати «ланцюгові» та «гіллясті» фізичні процеси, що характеризують стан складних технічних систем, об'єктів, довкілля, тощо.

Розроблено основи теорії алгоритмів і систем обробки швидкоплинної інформації, які мають паралельну структуру, а також одержано конструктивні підходи для побудови таких алгоритмів і систем з врахуванням їх фізичної і обчислювальної реалізації [76]. Запропоновано методи і алгоритми розпаралелювання обробки швидкоплинної інформації для реалізації за допомогою високопродуктивних спецпроцесорів та проблемно-орієнтованих систем на базі системних обчислювальних середовищ і структур. Визначено класи алгоритмів, які допускають автоматичну реалізацію в системах реального часу.

У працях досліджено мультиконвейєрне системне обчислювальне середовище. Джерело та приймач потоків даних в таких середовищах реалізують при необхідності через буферні запам'ятовуючі пристрої. Передача інформації у середовище здійснюється через регістрові комутаційні канали проходячи за один такт на один елементарний процесор. Передача здійснюється в один або декілька сусідніх процесорів. Процеси налаштування і роботи обчислювального середовища розділені за часом. Спочатку формується потік команд для налаштування обчислювального середовища, потім здійснюється засилання команди в регістри кожного процесора. Досліджуване середовище дозволяє практично необмежено нарощувати обчислювальні потужності в цілому системи обробки даних за рахунок збільшення поля середовища і максимального розпаралелювання на ньому.

Платою за це є збільшення труднощів реалізації обчислювального процесу, складання програм в кодах процесорів навіть для нескладних задач. Ця проблема є дуже важливою для будь-яких системних середовищ. Тому надзвичайно необхідною була розробка теоретичної бази для налаштування обчислювального системного середовища і паралельного програмування, створення математичних моделей їх функціонування, розробки інструментарію і методів розпаралелювання алгоритмів для таких середовищ. Важливою проблемою є розробка бібліотек мікропрограмних модулів і їх реалізація при налаштуванні системного середовища на заданий обчислювальний процес. Тому вперше розроблено мову паралельного програмування високого рівня FPL (Flow Programming Language), FPL-транслятор, методи і програми розпаралелювання при налаштуванні середовища на реалізації обчислювального процесу, методи обслуговування бібліотек мікропрограмних модулів. Ці засоби є інструментарієм паралельного програмування, налаштування системних обчислювальних середовищ на виконання заданого алгоритму. Розроблені інструментарії та програмне забезпечення дозволили автоматично синтезувати надвисокопродуктивні спецпроцесори проблемно-орієнтовані обчислювальні засоби на базі системних середовищ для розв'язку задач в реальному часі.

На базі цього підходу можна синтезувати мобільні бортові обчислювальні засоби, здатні обробляти величезні потоки даних в реальному часі. Запропоновані методи також дозволяють швидко і ефективно перенаалаштовувати середовища на розв'язки різних задач, причому управління цим процесом здійснюється з спеціального центру, що особливо важливо при роботі у віддалених та важкодоступних місцях. Розроблена теоретична база, методи, конструктивні алгоритми є основою для програмування і налаштування різних багатопроцесорних систем та спеціалізованих матричних обчислювачів, складних системних середовищ нейроподібного типу. Вперше була виготовлена принципово нова проблемно-орієнтована система на базі однорідних обчислювальних структур СІГМА, де є можливість нарощувати обсяг її до одного мільйона елементарних процесорів. Ця система має високі показники ефективності для реалізації широкого класу задач обробки, розпізнавання об'єктів та зображень в реальному часі. У колишньому СРСР ці роботи були виконані за замовленням в 1980 – 1990 р. для використання у космічних дослідженнях. В світовій практиці аналогів таких розробок немає. На базі цих розробок створено потужний банк мікропрограмних модулів, що дозволяє ефективно здійснювати реалізацію дуже широкого класу обчислювального процесу на системних середовищах. У цьому напрямку підготовлено висококваліфіковані наукові та інженерні працівники. Важливі результати у цьому напрямку досліджень були отримані Олексівим Б. Я., Деркачем Б. Т., Кисілем Б. В., Глазером С., Калиняком І. Н., Кожаном В. П., Опотяком Ю. В. У 1997 році для одного з часткових варіантів системного середовища, а власне, нейроподібного середовища поставлена проблема створення надвисокопродуктивних систем, яка реалізується за конкурсним проектом УНТЦ і за фінансовою підтримкою уряду США.

Розроблено концепцію, а також створено нові інформаційні технології і ефективні методи моделювання і експериментального дослідження нейроподібних спеціалізованих обчислювальних сіток і середовищ високої живучості для цифрової обробки та аналізу сигналів, обробки складних зображень (цифрова фільтрація, сегментація, розпізнавання, структурний аналіз). Розроблено і виготовлено високопродуктивні спецпроцесори і проблемно-орієнтовані системи на базі системних середовищ, які застосовуються для постановки обчислювальних експериментів при обробці складних зображень в реальному часі, а також розв'язку важливих народногосподарських задач і екологічних досліджень.

Створено експертну систему для автоматизації налаштування і дослідження обчислювальної структури для обробки і аналізу зображень на базі системних середовищ. Розроблено математичні моделі, алгоритми і експертну систему функціонального проектування та аналізу систолічних і хвильових процесорних матриць. Вперше синтезовано і виготовлено високоефективні систолічні процесори для дослідження і цифрової обробки зображень в системах реального часу, які є базовими та істотно поліпшують основні показники систем обробки зображень порівняно з відомими.

Створено методологічні і програмні засоби побудови, реалізації високопродуктивних спеціалізованих і проблемно-орієнтованих систем відбору і обробки швидкоплинної телеметричної інформації в реальному часі. Розроблено і виготовлено принципово нові високопродуктивні обчислювальні структури для відбору, структурного розпізнавання і класифікації інформації про стан складних космічних систем, які на декілька порядків поліпшують ефективність обробки даних порівняно з існуючими. Ці системи призначені для постановки наукових експериментів, дистанційного зондування, а також використовувались при дослідженнях, запуску великогабаритної космічної системи «Буран» та успішно працюють на космічних станціях типу «Мир».

На базі нових інформаційних технологій, високопродуктивних засобів відбору інформативних ознак і обробки інформації у Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури створений науково-дослідний стенд для вивчення і розробки нових методів, закономірностей і високоефективних засобів обробки швидкоплинної інформації в системах реального часу.

Розроблено нові проблемно-орієнтовані структури для управління складними процесами в системах, які показали високу ефективність в управлінні, для оцінки стану довкілля, та ін.

Високопродуктивні обчислювальні середовища для обробки даних в системах космічних досліджень. Розробка інформаційних технологій багатопроцесорних систем конвеєрного типу функціонування та нейронних мереж, асоціативних і самоорганізовуваних систем є одним з важливих і перспективних напрямків розвитку сучасної інформатики. До числа першочергових задач, які розв'язують з допомогою таких систем, відносяться задачі аналізу, обробки і розпізнавання складних зображень, створення моделей функціонування і відтворення живої природи, штучного інтелекту, створення банків знань, експертних систем.

Разом з тим, засоби традиційних фон Неймановських і навіть паралельних систем не є адекватними переліченим проблемам. Це зумовлено перш за все тим, що швидкодія окремих пристроїв в цих системах наближається до своєї природної межі, обумовленої швидкістю світла.

Розвиток технології надвеликих інтегральних схем (НВІС) сприяв значному зменшенню вартості обладнання і, можливо, скоро можна буде включати в конструкцію необхідну кількість елементів для розв'язку достатньо великих задач. Далі, для повного використання переваг НВІС необхідно максимально використовувати апаратуру, що в ній міститься. Це, у свою чергу, стимулює дослідження щодо створення нових методів та апаратних і програмних засобів моделювання і обробки даних в системах космічних досліджень і визначається чотирма взаємопов'язаними факторами:

- наявністю великої кількості даних при постановці космічних експериментів;
- необхідністю розв'язання задач реального часу, які не розв'язуються або вкрай незадовільно розв'язуються іншими засобами;
- насущними потребами розвитку сучасних засобів обробки інформації, для яких властивий масовий паралелізм, мікромініатюризація та наявність елементів штучного інтелекту;
- потребами вивчення природних механізмів мислення.

Особливістю даного напрямку робіт є те, що, з одної сторони, для ефективного використання нових обчислювальних структур необхідним є як грунтовний теоретичний аналіз їх роботи, так і потужний інструментарій програмних та апаратних засобів для розв'язання на них задач різного класу. З другої сторони, актуальною є розробка нових засобів навчання самоорганізовуваних систем для побудови нейронних мереж на базі нових технологій.

На даний час для розвитку нових інформаційних технологій, моделювання та синтезу обчислювальних систем проводяться інтенсивні теоретичні і прикладні дослідження як в нашій країні, так і за її межами. В них значна увага надається теоретичним аспектам функціонування і моделювання обчислювальних структур та розпаралелювання алгоритмів на них. Ці підходи значною мірою лягли в основу концепції обчислювальних машин п'ятого покоління.

В роботах Б. М. Олексіва, Б. В. Кисіля, Ю. В. Опотяка розглядається багатопроцесорна обчислювальна система типу нейронних мереж, що складається з матриць однорідних процесорів. Для програмування таких систем була розроблена мова програмування високого рівня FPL [75].

Авторами розроблено метод та інструментальні засоби розпаралелювання алгоритмів в багатопроцесорних нейроподібних системах на основі запропонованого опису властивостей потоків даних. Встановлено принцип неперервності потоків даних, який застосовується для побудови та аналізу ЯПФ представлення алгоритму. Встановлено умови залучення потоку в операцію на заданому рівні ЯПФ. Розпаралелювання алгоритмів, що при цьому досягається, відповідає абсолютно-максимальному розпаралелюванню. Описано розроблений алгоритм налаштування багатопроцесорних систем типу однорідних обчислювальних середовищ з елементами оптимізації, яку доцільно використовувати при обмеженій ширині налаштовуваного обчислювача.

Високопродуктивні нейронні мережі для обробки даних в системах космічних досліджень. Для розв'язку задач обробки швидкопоступаючих даних в постановці космічних експериментів у ряді випадків, з однієї сторони, необхідна надвисока швидкодія обчислювальних структур, наприклад для розв'язку задачі управління. З другої сторони, є ряд задач, які важко піддаються формалізації і побудові конструктивних алгоритмів. Здебільшого у таких випадках використовують евристичні підходи. До таких проблем відносяться обробка та розпізнавання зображень, задачі дистанційного зондування, прогнозування складних багатовимірних процесів та ін. З метою розв'язку таких задач у постановці космічних експериментів пропонуються потужні нейронні мережі.

Серед великої кількості розроблених парадигм штучних нейронних мереж (ШНМ) лише декотрі набули практичного застосування. Найбільш універсальними серед таких вважаються ШНМ типу Feed Forward Back Propagation, оскільки саме з їх допомогою знайшла своє рішення найдовша низка прикладних задач. Відомі також і суттєві недоліки мереж даного типу, серед яких повільність навчання вважається основною проблемою, що обмежує можливості нейрокомп'ютингу.

Р. О. Ткаченком [154] вперше запропонована нова концептуальна модель нейромереж, що стала основою нових підходів до побудови ШНМ та їх навчання. В рамках запропонованої моделі описуються і реалізуються алгоритми швидкого навчання мереж Feed Forward класичного типу, разом з тим на її основі можливо синтезувати ШМН нових типів, що мають нові властивості, які дозволяють розширити сферу застосування останніх в системах космічних досліджень.

Основою моделі є представлення навченої нейромережі функціоналом від аргументних функцій — множини функцій синаптичних ваг, множини перехідних функцій та функції вхідних сигналів. Кожному з наборів відповідає вектор вихідних сигналів. Задача навчання ШНМ в такій постановці зводиться до синтезу множин функцій синаптичних ваг та множин перехідних функцій, для яких числові значення функціоналу з достатньою точністю наближаються до координат-відгуків точок навчальної поверхні. Спосіб апроксимації навчальної поверхні (послідовність кроків і типи вибраних залежностей) визначає структуру мережі та основні її властивості.

Найближчим до традиційних є варіант мереж Feed Forward з використанням лише проективних зв'язків від нейронів наступного шару до попереднього. З метою покращання точності, перехідні функції нейронів схованих шарів можуть вибиратися поліноміальними, використовуватися каскадні з'єднання «неповних» мереж.

На основі даної моделі будуються і нові структури ШНМ, що не мають аналогів серед існуючих парадигм. Серед них відзначимо тришарову структуру, що передбачає існування додаткових латеральних зв'язків між нейронами схованого шару. Навчання даних мереж, як і в попередньому випадку, нетераційне. Суттєвою властивістю останніх є здатність одночасно з продукуванням вихідних сигналів отримувати оцінку (прогноз) точності.

Більшість запропонованих варіантів ШНМ та алгоритмів їх навчання пройшла ретельну перевірку для задач, що стосуються різних проблемних галузей. Отримані результати таких досліджень підтвердили правильність використовуваних підходів та допомогли виділити напрямки можливого застосування, що найкраще відповідають можливостям даних нейромереж:

- обробка даних дистанційного зондування Землі;

- обробка космічних зображень в реальному часі;
- прогнозування сонячно-земних залежностей;
- захист і відтворення даних;
- задачі наближення та відтворення функціональних залежностей багатьох змінних. Отримувана якість розв'язання подібних задач значно перевищує можливості регресійних моделей, затрати часу при цьому мінімальні і йдуть лише на підготовку вхідних масивів даних для навчання. ШНМ, що використовуються в даному режимі, можуть розглядатись як універсальний засіб моделювання складних багатопараметричних процесів;
- прогнозування багатовимірних процесів з можливістю швидкого перенавчання (донавчання) в міру появи нових даних;
- нелінійний факторний та кластерний аналіз. Ступінь допустимих нелінійних деформацій початкового простору задається. Інтерпретація діючих основних факторів виконується в околі певних галузей;
- візуалізація багатопараметричних процесів в просторі двох домінуючих факторів розглядається як розвиток попередньої задачі. Може стати основою систем діагностики, моніторингу, оптимізації.

Розроблені віртуальні ШНМ допускають можливість сумісного використання, каскадування для вирішення комплексних проблем.

Швидкість навчання подібних нейромереж вища від показників різних модифікацій Back Propagation на 2–3 порядки при суттєво кращих показниках за точністю. Більшість задач достатньо великої розмірності розв'язується на персональних комп'ютерах. Розробка спеціалізованих процесорів на основі паралельно-потокових структур з використанням табличної обробки інформації дозволить в перспективі перейти до розв'язання складних проблем, що не під силу сучасним потужним нейрокомп'ютерам.

Р. О. Ткаченком і його учнями розвинуто принципово новий підхід до розв'язку задач, які не піддаються математичній формалізації. Аналогів за високою швидкодією навчання запропонованих нейромереж у світовій практиці немає. Важливість цього підходу для обробки космічних даних є дуже вагома, оскільки у ряді окреслених вище задач вхідні і вихідні дані, що характеризують складні процеси у космічному просторі, можуть бути цінною інформацією для навчання нейромереж з метою розв'язку задач програмування складних процесів. Використовуючи цей підхід, К. С. Войчишиним і Р. О. Ткаченком вперше отримані цікаві результати з прогнозування сонячної активності, які відкривають зовсім нові можливості у вивченні та дослідженні космічних глибин.

3. ВИСОКОЕФЕКТИВНІ АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ КОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ І ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ НА КЛІТКОВИХ НЕЙРОМЕРЕЖАХ

Найважливіші задачі при обробці космічних зображень – фільтрація шуму (зокрема, боротьба зі спекл-шумом на радіолокаційних зображеннях) та виділення дрібних деталей. Застосування нейромережних технологій для розв'язку цих задач – природна вимога часу. Кліткові нейромережі (CNN) є відмінним апаратом для розв'язування різних задач обробки і розпізнавання космічних зображень. Н. Н. Айзенбергом і І. Н. Айзенбергом [28, 29, 116–123] проведені дослідження з реалізації ряду оригінальних алгоритмів обробки космічних зображень на кліткових нейромережах (CNN), а також розроблені високоефективні нейросистеми. Розглядаються класичні кліткові нейромережі, а також кліткові нейромережі з багатозначних і універсальних нейроелементів. CNN — це двовимірний масив нейроелементів розмірності $N \times M$. Кожний нейрон в такій мережі з'єднаний тільки з нейронами зі свого найближчого ($n \times m$) околу. Така конструкція мережі дуже зручна для реалізації алгоритмів фільтрації в просторовій області. Існує низка подібних застосувань неперервних CNN (CCNN) [29]. Дискретні CNN (DTCNN), орієнтовані на розв'язування задач обробки зображень, які описуються з допомогою булевих порогових функцій. Розглядаються CNN з додатковою можливістю реалізації нелінійних методів обробки, пов'язаних з обчисленням локальних гістограм (це зручно насамперед в плані реалізації рангових і медіанних фільтрів). Функціональні можливості CNN, порівняно з класичними CNN і їх модифікаціями, були суттєво розширені шляхом використання як базових нових типів нейронів. Алгоритми, які описуються за допомогою непорогових булевих функцій, не можуть бути реалізовані на DTCNN, але їх можна реалізувати на CNN з універсальних логічних елементів (універсальних булевих нейронів) – CNN-UBN. CNN на багатозначних нейронах (CNN-MVN) є відмінним засобом для реалізації багатозначних нелінійних фільтрів (MVF). MVF ефективні для фільтрації гаусового, рівномірного і навіть спекл-шумів, а також для підсилення високих і середніх частот (з метою виділення деталей). Для вирішення останньої задачі поки що не в повному обсязі використані можливості застосування медіанних фільтрів для розв'язування задач корекції частот.

Детально розглянуті такі проблеми: структура та види CNN, оригінальні алгоритми точного глобального виділення контурів і виділення контурів по вузьких напрямах багатозначні нелінійні фільтри, їх застосування для фільтрації шуму і вирішення задачі корекції частот (виділення деталей), застосування для розв'язування задач корекції частот медіанного типу фільтрів і реалізацію всіх алгоритмів на CNN.

Досліджено ряд оригінальних нелінійних фільтрів, їх застосування для фільтрації шуму та корекції частот. Н. Н. Айзенбергом і І. Н. Айзенбергом запропоновані алгоритми глобального точного виділення контурів і виділення контурів по вузьких напрямах. Описані алгоритми реалізуються на кліткових нейромережах. На цій базі І. Н. Айзенбергом розв'язано ряд задач обробки космічних зображень.

4. СИСТОЛІЧНІ АЛГОРИТМИ ТА БОРТОВІ СТРУКТУРИ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ І ФІЛЬТРАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

При розробці бортових вимірювальних систем аерокосмічних апаратів значна увага приділяється проблемі швидкої обробки сигналів та зображень. Дана проблема в основному зводиться до побудови високоефективних паралельних алгоритмів розв'язання одновимірної та двовимірної задач цифрової фільтрації.

На основі оптимізації за швидкодією відомих систолічних алгоритмів реалізації одновимірної згортки та систолічного алгоритму реалізації рекурсивного фільтра в роботах В. О. Вальковського і його учнів запропоновані більш ефективні алгоритми і відповідні систолічні структури для розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації. Недоліком відомих алгоритмів є наявність значної кількості затримок потоків даних. В проведених роботах реалізована ідея досягнення мінімальної системної затримки за рахунок відмови від повної локальності міжпроцесорних зв'язків. Ця розробка знайшла своє практичне втілення в запропонованому квазісистолічному алгоритмі розв'язання задачі цифрової фільтрації за одновимірною схемою. Доведено, що він є оптимальним за швидкодією та використанням пам'яті в класі еквівалентних йому за інформаційним графом алгоритмом. Причому вибрано такий інформаційний граф, який забезпечує найкращу збіжність алгоритму. Наведені порівняльні оцінки прискорення обчислень для еквівалентних алгоритмів: послідовного алгоритму, алгоритму, побу-

дованого на основі методу гіперплощин Лемпорта; квазісистолічного алгоритму. З практичної точки зору значний інтерес викликає проблема порівняння наведених в згаданій роботі алгоритмів розв'язання задачі цифрової фільтрації, які мають різні графи інформаційної залежності: синхронного паралельного алгоритму, квазісистолічного алгоритму і алгоритму з організацією асинхронних обчислень.

Запропонована в роботі [43] методика побудови оптимального алгоритму розв'язання одновимірної задачі цифрової фільтрації використана при розробці квазісистолічного алгоритму розв'язання двовимірної задачі цифрової фільтрації. Слід зазначити, що згадану задачу можна розглядати як «джерело» нових методів організації обробки в деяких обчислювальних системах, наприклад, в нейронних мережах.

Встановлено взаємозв'язок між задачею цифрової фільтрації і нейронними мережами. Зокрема, пропонується використовувати як прототип структури нейронної мережі алгоритм і квазісистолічну систему для розв'язання задачі цифрової фільтрації у двовимірному випадку. Алгоритм орієнтований на обчислення зваженої функції згладжування в плаваючому вікні розміром $(2m + 1)\times(2n + 1)$. Система працює таким чином, що при перерахунку значення на k-тому рівні використовується $2mn + m + n$ значень з k-го рівня — вже перераховані елементи, і стільки ж значень з $k - 1$ рівня — ще не перераховані елементи. Час спрацювання системи рівний довжині максимально критичного шляху в інформаційному графі при даному режимі обробки, тобто є незменшуваним.

Досліджено [43] тривимірну нейронну мережу, структура з'єднань в якій відповідає структурі інформаційних зв'язків в описаному вище плаваючому вікні. Якщо функція активації елемента нейронної мережі збігається з функцією підрахунку задачі цифрової фільтрації, то нейронна мережа розв'язує задачу цифрової фільтрації з навчанням, тобто з модифікацією вагових коефіцієнтів. Це приклад перенесення механізмів обробки інформації в одну сторону — від нейронних мереж до задач цифрової фільтрації. Якщо ж в розробленій схемі нейронної мережі допустити незначну модифікацію функції активації, наприклад, ввести порівняння її значення з деяким порогом, то маємо перенос в другу сторону – від задач цифрової фільтрації до нейронних мереж. Розроблена квазісистолічна система перетворюється в систему, що реалізує тривимірну нейронну мережу з достатньо розповсюдженою структурою зв'язків і найбільш використовуваною функцією активації. Очевидно, що такі системи найкращим чином відповідають «плоским» задачам типу обробки складних космічних зображень, задачі розпізнавання двовимірних образів і т.д.

5. НАДВИСОКА РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ ОБРОБКИ КОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ, ОБ'ЄКТІВ, ШВИДКОПЛИННИХ ПРОЦЕСІВ НА ПКС

Створення на орбіті Землі довготривалої ОКС ставить низку фундаментальних задач. В першу чергу — це використання космосу для потреб людства. Друге — це задачі позаатмосферної астрономії та астрофізики. І третє — проблеми, пов'язані з реалізацією довготривалого пілотованого міжпланетного польоту до інших планет.

Всі ці задачі потребують проведення широкого спектра наукових досліджень безпосередньо на борту ОКС [115].

Для розв'язку задач моніторингу Землі, астрофізики, позаатмосферної астрономії, мікробіології, медицини, космічної навігації і т. д. розроблено новий високоефективний інструментарій — інформаційний відеоскоп, який підвищує роздільну здатність сприймання відеозображень, дозволяє уникати різноманітних завад, які спричиняє атмосфера і земні умови.

Високі технічні характеристики інформаційного відеоскопа, що пропонується, досягаються завдяки втіленню технології програмно-керованих растрів, коли траєкторія електронного променю, який зчитує інформацію з мішені приймальної трубки, задається програмно з керуючого комп'ютера. Зчитування інформації з мішені виконується в старт-стопному режимі, що дає можливість зчитувати інформацію з роздільною здатністю більшою ніж площина електронного променю, який її зчитує.

Наземні випробування створеної телевізійної системи підтвердили її високі метрологічні характеристики. Запропонований підхід надає добру перспективу для створення широкого спектра бортових космічних приладів та систем як для наукових досліджень так і для цілей космічної навігації.

На базі інформаційного відеоскопа планується розробити цілий спектр приладів та систем для наукових досліджень на борту ОКС в різних галузях наукових досліджень.

В залежності від оптичного приладу, який буде стикуватись з спеціалізованою телевізійною камерою інформаційного відеоскопа, він може виступати в ролі комп'ютерного телескопа, мікроскопа, фотоапарата або відеомагнітофона. З високою роздільною здатністю космонавт-дослідник зможе проводити наукові дослідження в галузях позаатмосферної астрономії, астрофізики, мікробіології, медицини, проводити моніторинг поверхні земної кулі, використовувати відеоскоп в космічній навігації.

Зміна системи керування та давачів відеоскопа дасть можливість створити на борту ОКС прилади для досліджень зображень іншої неоптичної фізичної природи. До таких приладів можна віднести створення на борту ОКС електронного, тунельного та фотоакустичного мікроскопа, томографа, тепловізора.

6. АЛГОРИТМИ ОБРОБКИ СКЛАДНОСТРУКТУРОВАНИХ КОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Б. П. Русином запропоновано та розвинуто методи та засоби синтезу, обробки та розпізнавання складноструктурованих космічних зображень різної фізичної природи, які полягають в застосуванні нових підходів до синтезу енергетичних характеристик тривимірних об'єктів і попередньої обробки напівтонових малоконтрастних зображень, а також нові способи формування систем інваріантних до афінних перетворень ознак для опису і розпізнавання малорозмірних і великорозмірних, рухомих і нерухомих об'єктів. В рамках цього наукового напрямку отримані такі основні результати [108]:

- розроблено модель формування напівтонових зображень тривимірних об'єктів, яка дозволяє відтворювати якісні зображення без безпосереднього використання оптичної системи. На основі моделі розроблено алгоритм кадрування зображень динамічних просторових сцен;
- для інформаційних адаптивних моделей динамічних просторових сцен розроблено новий клас методів попередньої обробки та розпізнавання складноструктурованих космічних зображень. Серед них:
  - метод придушення шумів і завад для точного виділення контура малорозмірних динамічних об'єктів;
  - методи вибору порога для переводу напівтонових зображень в бінарні на основі обчислень зміни ентропії матриці зображення;
  - метод формування систем ознак для опису і розпізнавання тримірних об'єктів шляхом визначення для кожного ракурсу об'єкта функції кривизни контурів і відповідних їм векторів-маркерів;
  - метод розпізнавання рухомих малорозмірних об'єктів на основі використання ефекту Допплера для побудови

амплітудних і частотних портретів об'єктів на базі одержаних аналітичних виразів для їх спектрів;

- розроблено:
  — паралельний метод геометричних перетворень космічних зображень, який дозволяє розглядати їх як одну операцію перетворення координат. Створено алгоритм та програмне забезпечення, яке має суттєві переваги порівняно з широковідомим пакетом Photoshop;
- розроблена нова архітектура побудови бортових високопродуктивних спеціалізованих процесорів, інформативно-обчислювального комплексу для обробки і розпізнавання в реальному часі складноструктурованих космічних зображень різної фізичної природи для космічних досліджень при обробці великих масивів даних.

7. ВІДКРИТІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ НА БОРТУ ПІЛОТОВАНИХ КОСМІЧНИХ СТАНЦІЙ

У роботах А. Е. Батюка, І. І. Кравця, Ю. В. Опотяка [70, 71, 75] та ін. проведені дослідження, пов'язані із створенням бортової відкритої високоефективної багаторівневої системи відбору, передачі, попередньої обробки та відтворення інформації, яка допускає масштабованість та нарощуваність з метою інформаційного забезпечення на борту пілотованих космічних станцій (ПКС) та у центрах керування. Концепція системи передбачає забезпечення постійного відбору, обробки та накопичення інформації від визначених вузлів і систем ПКС, у випадку необхідності — застосування для інформаційного забезпечення різноманітних наукових експериментів, що проводитимуться на борту ПКС, а у аварійних ситуаціях — можливість оперативного розгортання протягом декількох годин.

Концепція пропонованої системи має такі основні переваги:

- універсальність апаратних та програмних засобів системи для організації відбору, передачі, попередньої обробки та відтворення інформації на борту ПКС;
- відкритість архітектури системи, що передбачає можливість поетапного розгортання системи в найкоротші терміни, а при необхідності — встановлення на діючому обладнанні ПКС;
- представлення отримуваної інформації в реальному часі та у зручному для користувача вигляді (інформація, прив'язана до мнемосхем технологічних процесів ПКС та експериментів; графіки параметрів);
- підтримка системою бортової локальної мережі передачі даних та відповідних протоколів, що забезпечує отримання інформації одночасно широким колом користувачів за різноманітною тематикою та у відповідності до їх прав доступу,
- отримувана такою системою інформація дозволить виявляти певні закономірності між різноманітними вимірюваними параметрами, проводити їх кількісну і якісну оцінку та прогнозувати стан досліджуваних процесів у космічних глибинах.

Використання запропонованої архітектури відкритої високоефективної багаторівневої системи відбору, передачі, попередньої обробки та відтворення інформації та її реалізація на борту пілотованої космічної станції дозволить створити інтегровану інформаційну мережу. Розгортання такої системи може проводитись поетапно і охопити у випадку необхідності усі визначені вузли та системи ПКС.

Ця система має перспективу широкого застосування для постановки найрізноманітніших експериментів на борту ПКС, є гнучкою і ефективною. Вона пройшла апробацію у постановці наземних експериментів та впроваджень.

8. ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМУ СИГНАЛУ, КОМПАКТНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

У працях Б. О. Попова проведено фундаментальні та прикладні дослідження спрямовані на компактне та ефективне представлення складних фізичних процесів, природних явищ, об'єктів, структур, розрахунок і синтез бортових спеціалізованих та проблемно-орієнтованих високопродуктивних обчислювальних пристроїв, розробку ефективного математичного забезпечення та ефективного здійснення на цій основі математичного моделювання. Мета цих розробок — зменшення об'єму сигналу і компактного представлення різних процесів у космічних дослідженнях.

Вперше встановлено загальні властивості рівномірного (з однаковою максимальною похибкою на кожній ланці) наближення аналітичних функцій раціональними сплайнами [100, 101, 103, 106, 107, 151 – 153].

Порівняння точності рівномірного наближення чебишовськими сплайнами із рівномірним наближенням відрізками ряду Тейлора, ермітовими сплайнами, Паде-сплайнами показало значний виграш за точністю при використанні чебишовських сплайнів із тією ж кількістю ланок та виграш у кількості ланок при однаковій точності наближення.

Вперше Б. О. Поповим запропоновано конструктивні обчислювальні алгоритми для визначення параметрів рівномірного наближення сплайнами. Для аналітично заданих функцій такі алгоритми будуються на основі виразів для похибок рівномірного наближення. При цьому для знаходження границі i-ї ланки сплайна необхідно розв'язати лише одне трансцендентне рівняння з однією невідомою. Пропоновані раніше алгоритми вимагали розв'язування систем десятків трансцендентних рівнянь із багатьма невідомими. При цьому не існувало ефективних методів розв'язання таких рівнянь.

Досліджено загальні властивості найкращих чебишовських нелінійних наближень, побудовано відповідні обчислювальні алгоритми [104, 105].

Зазначені, а також деякі інші результати в працях Б. О. Попова, дали можливість побудувати нові ефективні алгоритми обчислення елементарних спеціальних функцій [102, 103, 105]. Особливо корисні розроблені алгоритми при побудові спеціалізованих табличних процесорів із нерівними інтервалами, призначені для обчислень аналітичних функцій у високопродуктивних бортових спеціалізованих та проблемно-орієнтованих процесорах. У спецпроцесорах використовуються методи розпаралелювання обчислень, які висвітлені у циклі праць, та обчислення за допомогою рівномірного наближення раціональними та многочленними чебишовськими сплайнами. Показано переваги використання таких наближень у порівнянні із раніше відомими методами.

Вперше розглянуто чебишовські сплайни спеціальних видів, використання яких істотно спрощує реалізацію і синтез широкого класу бортових технічних пристроїв.

Значна частина запропонованих методів та алгоритмів відноситься до паралельно-послідовного типу, що забезпечує можливість широкого розпаралелювання процесу при знаходженні параметрів наближень. Розвинуті методологічні основи розв'язування розглянутих задач на машинах наступних поколінь, що базуються на багатопроцесорних ЕОМ з глибоким ступенем розпаралелювання алгоритмів обробки даних для обробки великих масивів швидкопоступаючої інформації у бортових системах. Передбачена також можливість реалізації ефективних алгоритмів при можливості проведення символьних перетворень на ЕОМ [101 – 103, 105, 153].

Запропоновані методи істотно підвищують якість і ефективність опису складних процесів, об'єктів, структур, ситуацій,

створення математичного забезпечення, полегшують синтез інформаційно-вимірювальної та обчислювальної техніки, систем передачі та перетворення інформації для постановки експериментів на ПКС.

Розроблене програмне та математичне забезпечення може використовуватися при проектуванні і створенні нових систем перетворення і передачі сигналів, приладів та пристроїв обчислювальної та інформативно-вимірювальної техніки.

Теоретичні та прикладні результати Б. О. Попова отримали світове визнання.

Розроблені комплекси програм широко впроваджені через Український республіканський фонд алгоритмів, програм у 143 організаціях колишнього СРСР. Вони використовувались при проектуванні і синтезі ряду пристроїв нової інформаційно-вимірювальної та обчислювальної техніки, систем автоматичного проектування та контролю, здійснення математичного моделювання складних процесів, ситуацій, об'єктів, структур, для космічних досліджень.

9. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАКОПТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОЦЕСІВ НА БАЗІ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

У працях Р. А. Буня проведені фундаментальні та прикладні дослідження з інформаційних технологій діакоптичного моделювання динаміки складних фізичних процесів і природних явищ, об'єктів, структур на основі рівнянь вищих порядків [33, 126]. У цих працях запропоновано і розвинуто новий науковий напрям – створення інформаційних технологій, математичних методів та програмних засобів моделювання динаміки фізичних процесів і природних явищ на основі диференціальних рівнянь вищих порядків, які полягають у застосуванні нових підходів до формування моделей та нових числових способів розв'язування рівнянь вищих порядків без зведення їх до системи рівнянь першого порядку в нормальній формі [31, 32].

В рамках цього наукового напряму отримано такі основні результати.

Показано, що існує широкий клас задач математичного моделювання (в космічних розробках, електротехніці, екології та інших областях), в яких моделі досліджуваних процесів чи явищ зручно представляти у вигляді звичайних диференціальних рівнянь з похідними вищих порядків з заданими початковими умовами. Для розв'язування задач моделювання перехідних процесів у складних нелінійних системах розроблено нові діакоптичні підходи до побудови математичної моделі у вигляді рівнянь вищих порядків [124, 125].

На основі запропонованих підходів до математичного моделювання динаміки складних фізичних процесів і явищ з використання диференціальних рівнянь вищих порядків розроблено алгоритми та програмні засоби для побудови моделей та їх числового розв'язування [127].

Розвинуті Р. А. Бунем та його учнями діакоптичні підходи до формування моделей та розроблені числові методи для рівнянь вищих порядків використано для розв'язування задач екології на базі дистанційного зондування Землі. В цьому напрямку розроблено діакоптичний підхід до моделювання глобального кругообігу вуглецю в біосфері, який базується на розбитті планети на ряд регіонів і описі кожного з них своєю математичною моделлю та враховується зв'язок сусідніх регіонів через атмосферу [33]. Запропонований підхід розширює область адекватності моделі, дає можливість враховувати неоднорідність протікання біохімічних процесів у різних регіонах планети, здійснювати імітаційне моделювання: впливу екологічних катастроф в окремих регіонах на клімат планети; результатів керованого і некерованого антропогенних впливів на природу; впливу на процеси кругообігу вуглецю таких факторів як зміна площ сільськогосподарських угідь, вирубування лісів, лісові пожежі, меліоративні роботи та ін.

Запропоновано та обгрунтовано процедуру формування регіональної математичної моделі кругообігу вуглецю, яка базується на розбитті кожного регіону на ряд трав'яних і лісових підсистем та враховує потоки вуглецю між окремими блоками цих підсистем. При цьому суттєво спрощується процедура визначення параметрів протікання біохімічних процесів. В модель входять блоки, які відображають антропогенні і неантропогенні викиди вуглецю в атмосферу, а також потоки вуглецю із сусідніх регіонів та дані дистанційного зондування Землі.

Розроблено метод формування математичної моделі глобального кругообігу вуглецю на основі регіональних моделей та рівнянь зв'язку, які відображають взаємний зв'язок сусідніх регіонів через атмосферу. При формуванні рівнянь зв'язку використовуються дані про «розу вітрів» в точках межі поділу регіонів.

Для регіональних моделей кругообігу вуглецю проаналізовано та обгрунтовано вибір аналітичних виразів для опису потоків вуглецю між окремими блоками в системі «атмосфера – рослини – грунт».

Для числового розв'язування рівнянь моделі запропоновано алгоритм, який враховує суттєві відмінності в швидкостях протікання окремих складових процесу кругообігу вуглецю.

Створено програмні засоби та здійснено імітаційне моделювання кругообігу вуглецю для окремого регіону, досліджено динаміку зміни вмісту вуглекислого газу в атмосфері, спричинену як його раптовим, так і постійними викидами, а також досліджено сезонну залежність величини фотосинтезу та продуктивності рослин з врахуванням зміни температури, освітленості та концентрації вуглекислого газу в повітрі.

Розроблені інформаційні технології, математичні методи та комп'ютерні алгоритми діакоптичного моделювання дають можливість формувати моделі динамічних процесів у вигляді рівнянь вищих порядків і розв'язувати їх без зведення до системи першого порядку більшої розмірності, а тим самим вони зменшують обсяги обчислювальних затрат, спрощують процес числового моделювання і роблять його результати більш наочними.

10. ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ

Дедалі більші обсяги унікальних, добутих на ПКС, даних про сонячну активність та її вплив на довкілля Землі сьогодні ще не можуть бути піддані ефективному оперативному аналізу, орієнтованому на практичне застосування результатів, через відсутність необхідних бортових високопродуктивних спеціалізованих інформаційно-аналітичних систем. Якщо в подальшому, «на землі» в стаціонарних умовах, в структурі цих даних і вдається виявити і розпізнати діагностично-прогностичну інформативність, її актуальність для багатьох задач практики безповоротно втрачається.

Побудова спеціалізованих інформаційно-аналітичних систем, які працювали б на борту ПКС в близьких до реального часу режимах, гальмується неадекватністю наявного математичного апарату і відповідного йому алгоритмічно-програмного забезпечення для ефективного опису і аналізу даних з циклічно-неоднорідною просторово-часовою структурою, якими є у більшості випадків геліо-геофізичні дані. Сюди відносяться, зокрема, щодобові значення даних про рекурентну фотосферно-корональну активність Сонця з їх високою діагностично-прогностичною інформативністю, Кр і Ар – індекси рекурентної активності магнітосфери, а також середньомісячні та щодобові значення числа Вольфа.

К. С. Войчишиним і його учнями проведені фундаментальні дослідження з розробки інформаційних технологій прогнозування сонячної активності і на цій основі створені програмні засоби обробки і аналізу рекурентної фотосферно-корональної активності Сонця і відповідної їй іоносферно-магнітосферної активності для проведення діагностики і прогнозування довкілля ПКС і Землі [46—49, 158, 159].

Створені на базі математичних моделей [48, 49, 158, 159] циклічно-неоднорідної просторово-часової структури індексів сонячної активності і реалізовані в бортові інформаційно-аналітичні системи обробки даних математичні та алгоритмічно-програмні засоби дозволять:

— виявляти в реальному часі в даних, що надійшли на борт ПКС фундаментальні закономірності зв'язку параметрів циклічності сонячної активності;
— підвищувати ефективність методів прогнозування індексів сонячної активності з малою (до одного місяця) і надвеликою (до одинадцяти і більше років);
— досліджувати фундаментальні закономірності сонячно-магнітосферної активності для виділення геоактивної компоненти числа Вольфа в широкому діапазоні розділення його структури;
— розробляти засоби обробки геліогеофізичних даних для розкриття фундаментальних закономірностей в структурі сонячно-земних зв'язків.

Створені в рамках пропонованого підходу засоби обробки та аналізу даних принципово відрізнятимуться від відомих спектрально-кореляційних засобів аналізу для стаціонарних і періодично нестаціонарних сигналів тим, що вони будуть адекватні циклічно нестаціонарним сигналам), де повторюваність міститься в збереженні форми послідовних циклів з, взагалі кажучи, неоднаковою їх тривалістю, висотою та асиметрією.

II. ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС НА ПІЛОТОВАНИХ КОСМІЧНИХ СТАНЦІЯХ

Проведені у цьому напрямку наукові теоретично-експериментальні дослідження мали своєю основною метою створити ефективну математичну базу для розробки загальних та спеціальних рекомендацій в організації операторської діяльності та робочого середовища в людино-машинному інтерфейсі систем обробки візуальної інформації та систем управління складними процесами на ПКС. В цьому плані людино-машинний інтерфейс, як цілісна система, розглядається в просторі науково обґрунтованих заходів організаційного забезпечення високоефективної і продуктивної діяльності людини-оператора (космонавта). Об'єктом дослідження є власне діяльність космонавта в процесі обробки зорової інформації, точніше розпізнавання складних образів. В загальному, суть досліджень полягає в тому, щоби, з однієї сторони, не прив'язуючись до конкретного типу чи виду людино-машинного інтерфейсу створити загальну методологію з ґрунтовною математичною основою для організації такого роду досліджень і проектування таких систем. З другої сторони, дана проблема є однією з основних проблем математичної психології — математичного моделювання категорії діяльності та аналізу моделей і також вимагає невідкладного розв'язання.

Р. М. Камінським проведені дослідження в результаті яких створені:

- математичні моделі процесів сприйняття, обробки та вироблення рішень при розпізнаванні складних швидкозмінних зображень:
  а) математична модель в класі рекурсивних функцій процесу розпізнавання ситуацій, які пред'являють операторові у формі зображень на інформаційному полі уваги, при цьому термальне представлення враховує, з однієї сторони, довільність процесу сприйняття, а з другої — його рекурсивність [52];
  б) математичні моделі — інформаційна (вхідної інформації), еталонна (досвіду і предметних знань) та концептуальна (результуюча їх взаємодії), які визначають гомоморфне відображення процесу розпізнання вхідної інформації [63];
- математичні моделі оператора-космонавта:
  а) часова модель в класі імпульсних потоків, яка відображає діяльність оператора трьома послідовностями прямокутних імпульсів синхронізованих по фронту — перша відповідає пред'являвній послідовності зображень, друга — лише послідовності зображень з об'єктами заданого класу, а третя відображає час розпізнавання визначених об'єктів як тривалість імпульсів, ця модель використовується при описі діяльності оператора в задачах узгодження вхідних інформаційних потоків [65];
  б) модель у формі трикомпонентного часового ряду характеризує динаміку часу розпізнання та вплив на неї функціонального стану оператора [65];
  в) ймовірнісно-часова модель відображає взаємозв'язок між розподілом часу розпізнання та його динамікою, що дозволяє представити діяльність оператора в часовому просторі, а також оцінити деякі її складові, наприклад оперативність прийняття рішення [144];
- встановлення виду закону розподілу часу розпізнавання складних зображень:
  а) модель часу розпізнавання зображень у формі закону розподілу Вейбула отримана на основі порівняльного теоретичного аналізу експериментальних даних в іншими відомими розподілами, які використовують в подібних дослідженнях [66];
- система інтегральних показників для оцінювання швидкодії оператора:
  а) система показників оперативності на основі закону розподілу часу розпізнавання [68];
  б) система показників оперативності, яка враховує динаміку часу розпізнавання протягом роботи оператора і дозволяє визначити його адаптаційні характеристики та ймовірність переходу критичного рівня, який визначає допустимість величини цього часу [146];
  в) система показників оперативності персоналу в система обробки інформації та управління [64];
- модель людино-машинного інтерфейсу системи управління складними технологіями:
  а) базова системна модель людино-машинного інтерфейсу управління складними процесами, яка виділяє основні загальні елементи реальної системи керування, відношення між ними та допускає введення нових елементів з своїми відношеннями між ними [134];
- моделі вхідної інформації:
  а) алгоритми побудови і моделі тестових зображень з заданими характеристиками, створюваних випадковими процесами, для дослідження процесів сприйняття і обробки зорової інформації в системах розпізнавання складних образів [67];
  б) математичні моделі зображень бінарних об'єктів в умовах впливу імпульсного шуму з різними законами розподілу [146].

Ці результати можна розглядати як математичну базу для створення людино-машинного інтерфейсу на довготривалих пілотованих космічних станціях.

12. ЗАСОБИ ВИСОКОПРОДУКТИВНОГО ВІДБОРУ, ОБРОБКИ, ПЕРЕДАЧІ І ЗБЕРЕЖЕННЯ ДАНИХ, ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ; ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ, СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ПРОЦЕСОРИ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Вченими Західного наукового центру розроблені високоефективні спеціалізовані і проблемно-орієнтовані інформаційно-вимірювальні системи, нейроподібні системні середовища та програмні комплекси, а також локальні і регіональні комп'ютерні мережі, які знайшли широке використання для відбору, передачі, обробки та зберігання інформації в космічних дослідженнях.

Під керівництвом Р. Ф. Федоріва створено фотометри та комплекс фотометричних систем відбору та обробки інформації [4, 7, 21, 23, 24].

- електрофотометр ОФ-1Л, призначений для досліджень будови речовини методами комбінованого розсіювання світла;
- імпульсні фотометри ІФ-2Л та ІФД-1Л для імпульсної лазерної фотометрії, причому ІФД-1Л працює при особливо слабкому сигналі (наприклад, розсіювання світла на світлі);
- астроелектрофотометри АЕФ-1Л та АЕФ-2Л, призначені для реєстрації світлових образів штучних небесних тіл на фоні розсіяного світла нічного неба.

Розроблено генератори інформаційних сигналів із зразковими числовими характеристиками для метрологічного забезпечення створених інформаційно-вимірювальних систем. Генератор «Десна-5» випускається серійно.

Запропоновані В. О. Погрібним методи високопродуктивної адаптивної цифрової обробки одно- та двовимірних випадкових сигналів в реальному часі на підставі дельта-модуляції використано для створення та впровадження принципово нових систем обробки даних [2, 3, 5, 12 – 15, 18, 19, 25 – 27]:

- льотних взірців інформаційно-вимірювальних систем «Терра-1», «Терра-2», цифрової телеметричної системи АКПКР, частотних телеметричних систем СОРИ-1 та СОРИ-2, дискретної вимірювальної системи енергії часток ДИСЭЧ, які використовувалися в міжнародних стратосферних експериментах серії САМБО;
- модифікованої цифрової телеметричної системи АКПКР-М для вимірювання параметрів ДНЧ-випромінювань магнітосфери в експедиційних умовах;
- дискретної телевимірювальної системи ДТИС та паралельного спектроаналізатора БПС-8, які використовувалися в ракетних експериментах;
- бортової цифрової телеметричної системи з делокалізацією службових слів та слів синхронізації МАК для міжнародного космічного експерименту «Интербол»;
- частотної телеметричної системи з підвищеною лінійністю перетворення та збільшеною девіацією частоти БПЧ-Л та корелятора з лінійною дельта-модуляцією ЭКВ-2, які застосовувалися в космічному експерименті «Ионозонд-Э»;
- блоку адаптивних автокореляторів та кроскореляторів із знаковою дельта-модуляцією БК ДЭП-2 для міжнародного космічного плазмового експерименту АПЭКС;
- блоку цифрової пам'яті та комутатора БЦПК системи Парсек-А та блоку цифрових фільтрів ЦФ-1 для пілотованих космічних польотів;
- кореляційної системи АККОР для космічного експерименту «Активний»;
- спецпроцесора для обробки імпульсних сигналів детектора потоків енергійних часток СТЕП-Е, призначеного для міжнародного космічного експерименту «Попередження» з метою дослідження магнітосфери Землі в періоди сейсмоактивності і прогнозування землетрусів.

В розробці кореляторів БК ДЭП-2 використано адаптивний метод відбору локально-стаціонарних інтервалів реалізації сигналів та алгоритм з дельта-модуляцією. У кореляторі ЭВК-2 дельта-модуляція використана для ефективного пригнічення імпульсних завад. Вона застосована також в цифровому фільтрі з рециркуляцією добутків згорток в одному з каналів спектроаналізатора БПС-8. Методи вимірювання інтегральних та диференційних енергетичних спектрів та виявлення мікросплесків і бухт інтенсивностей випадкових імпульсних послідовностей використано при реалізації систем ДИСЭЧ, ДТИС, СТЕП-Е. Запропоновано методи підвищення пропускної здатності, завадостійкості та надійності роботи використано в цифрових системах АКПКР, ДТИС, МАК та БЦПК, а в частотних телеметричних системах СОРИ і БПЧЛ — методи суттєвого покращення точності та розширення смуги вимірюваних сигналів.

З використанням створених приладів та систем вдалося вперше отримати нові відомості про магнітосферно-іоносферні зв'язки, вплив сонячного вітру на геофізичні процеси як результат — суттєвий економічний ефект.

Проведені прикладні дослідження у галузі високопродуктивної обробки даних стали основою для розробки та створення принципово нових бортових спеціалізованих та проблемно-орієнтованих систем обробки даних в реальному часі [6, 9 – 11, 16, 17, 20, 22].

В основі розроблених методів високопродуктивної паралельної обробки інформації створено принципово нові високоефективні обчислювальні структури для відбору, структурного розпізнавання і класифікації інформації про стан складних космічних систем, які на декілька порядків поліпшують ефективність обробки даних порівняно з існуючими. Ці системи призначені для постановки наукових експериментів та дистанційного зондування. Вони використовувалися при запуску великогабаритної космічної системи «Буран» та успішно працюють на космічних станціях типу «Мир».

- Спецпроцесори «Фільтр-1», «Фільтр-2», «Фільтр-3», «Фільтр-4», для обробки складних зображень, що надходять в режимі телевізійного тракту; їх функціональні можливості — фільтрація завад, виділення контурів, виділення окремих зображень.
- Проблемно-орієнтовані системи для управління лазерним променем за заданою функціональною розгорткою в реальному часі. Впроваджені для дослідження складних об'єктів.
- Спецпроцесор «Структура» для обробки зображень з метою їх розпізнавання в системах реального часу.
- Спецпроцесор для обробки великих масивів швидкопоступаючої інформації на космічних станціях типу «Мир».
- Проблемно-орієнтована система «Сігма» на базі системних середовищ. Впроваджена для створення бібліотеки мікропрограмних модулів при реалізації обчислювальних процесів з глибоким ступенем паралелізму обробки даних.
- ДПЮ впроваджені і були використані при запуску, супроводі та посадці космічної системи «Буран».
- Проблемно-орієнтована моніторна система для відбору, обробки, передачі та зберігання інформації про стан складних технологічних процесів, довкілля, оцінки середовищ.

Великий вклад у ці прикладні космічні розробки внесли Деркач Б. Т., Кисіль Б. В., Стрямець С. М., Опотяк Ю. В., Олексів Б. Я., Кожан В. П., Черчик Т. П., Паленичка Р. М., Русин Б. П., Батюк А. Е., Луцик А. Ю.

Запропоновані обчислювальні алгоритми для швидкої лічби елементарних і спеціальних функцій широко використовувалися при розробках комп'ютерного математичного забезпечення, мікропроцесорних систем, послужили базою для оптимального синтезу бортових проблемно-орієнтованих обчислювальних систем.

Діакоптичні підходи до моделювання кругообігу вуглецю в біосфері використано в геоінформаційній системі оцінки та прогнозу екологічного балансу Карпатського регіону.

На основі фундаментальних та прикладних досліджень щодо розробки інформаційної інфраструктури при Державному науково-дослідному інституті інформаційної інфраструктури створено науково-дослідний стенд для апробування високопродуктивних засобів відбору, обробки, передачі та збереження даних.

ВИСНОВКИ

У статті розглянуто цикл праць, що охоплює дослідження та розробки напрямку інформаційних технологій і систем в інтересах космічних програм, що велися в Західному регіоні України і були спрямовані на виконання ряду державних науково-технічних програм колишнього Радянського Союзу, Державної науково-технічної програми «Перспективні інформаційні технології і системи» ДКНТПП України, міжнародних грантів. Результатом проведеного циклу робіт є теоретичні та прикладні розробки з теорії сигналів, їх моделювання та відбору інформативних параметрів, високоефективної обробки даних, методів і конструктивних алгоритмів апроксимації складних залежностей, моделювання і прогнозування фізичних процесів, створення принципово нової елементної бази та синтезу високопродуктивних бортових обчислювальних систем і мережевих нейроподібних структур. Фундаментальні та прикладні результати досліджень дозволили створити нові класи високопродуктивних бортових систем відбору, обробки та передачі даних, які за своїми показниками знаходяться на рівні найкращих світових досягнень, а у ряді випадків перевищують їх. Ці розробки дали можливість вперше створити потужний інформаційний інструментарій для здійснення перспективних наукових космічних досліджень і входження в глобальну світову інформаційну інфраструктуру. Вони можуть бути базою для реалізації сьогодні ряду завдань космічної програми України.

1. А. с. 784537 СССР, МКИ G 01 T 7/00. Устройство коррекции амплитуд импульсов / Я. П. Драган, В. А. Погрибной. – № 2796197/18-25; Заявл. 17.07.79; Опубл. 16.03.81., Бюл. № 4. – 9 с.
2. А. с. 862699 СССР, МКИ G 01 T 1/16. Устройство для измерения параметров потоков энергичных частиц / В. А. Погрибной и др. – № 2852710/18-25; Заявл. 17.12.79; Опубл. 16.10.81, Бюл. № 2. – 14 с.
3. А. с. 1080096 СССР, МКИ G 01 T 1/16; G 01 T 1/36. Устройство для исследования параметров потоков частиц / В. А. Погрибной и др. – № 3346675/18-25; Заявл. 12.10.81; Опубл. 15.03.84, Бюл. № 10. – 6 с.
4. А. с. 1097083 СССР, МКИ G 01 V 5/10. Импульсный радиометр / Р. Ф. Федорив и др. – № 3475377/18-25; Заявл. 28.07.82. – 12 с.
5. А. с. 1103689 СССР, МКИ G 01 T 1/16. Устройство для определения микросплесков / В. А. Погрибной и др. – № 3540045/18-25; Заявл. 18.01.83. – 7 с.
6. А. с. 11794113 СССР, МКИ G 08 G 19/28, 15/06. Устройство для адаптивного сжатия информации / В. В. Грицык и др. – № 3710938/24-24; Заявл. 11.03.84; Опубл. 15.09.85, Бюл. № 34. – 2 с.
7. А. с. 1274129 СССР, МКИ H 03 K 3/84. Генератор квазипуассоновского импульсного потока / Р. Ф. Федорив и др. – № 3911358/24-21; Заявл. 12.06.85; Опубл. 30.11.86, Бюл. № 44. – 4 с.
8. А. с. 1276965 СССР, МКИ G 01 N 22/00. Способ определения униполярности сегнетоэлектрических кристалов / Р. Ф. Федорив и др. – № 3835634/24-09; Заявл. 27.12.84; Опубл. 15.12.86, Бюл. № 46. – 2 с.
9. А. с. 1295427 СССР, МКИ G 06 K 9/36. Устройство для обработки изображений объектов / В. В. Грицык и др. – № 3946553/24-24; Заявл. 27.08.85; Опубл. 07.03.87, Бюл. № 9. – 4 с.
10. А. с. 1320827 СССР, МКИ G 08 C 19/28. Устройство для адаптивного сжатия информации / В. В. Грицык и др. – № 3866884/24-24; Заявл. 05.03.85; Опубл. 30.06.87, Бюл. № 24. – 3 с.
11. А. с. 1320876 СССР, МКИ H 03 H 17/00. Двумерный цифровой фильтр / В. В. Грицык и др. – № 4058682/24-09; Заявл. 21.04.86; Опубл. 30.06.87, Бюл. № 24. – 5 с.
12. А. с. 1339584 СССР, МКИ G 06 F 15/336. Коррелятор / В. А. Погрибной и др. – № 4053704/24-24; Заявл. 20.02.86; Опубл. 23.09.87., Бюл. № 35. – 6 с.
13. А. с. 1345349 СССР, МКИ H 03 M 3/02, 7/32. Дельта – модулятор / В. А. Погрибной и др. – № 4047426/24-24; Заявл. 27.02.86; Опубл. 15.10.87., Бюл. № 38. – 4 с.
14. А. с. 1347188 СССР, МКИ H 03 M 3/02, H 03 H 17/06. Цифровой фильтр с дельта-модуляцией / В. А. Погрибной и др. – № 3993168/24-24; Заявл. 17.12.85; Опубл. 23.10.87., Бюл. № 39. – 2 с.
15. А. с. 1348883 СССР, МКИ G 08 G 13/28. Устройство для передачи кодовых сообщений / В. А. Погрибной и др. – № 3672445/24-24; Заявл. 12.12.83; Опубл. 30.10.87., Бюл. № 40. – 5 с.
16. А. с. 1363534 СССР, МКИ H 04 N 5/14. Устройство для фильтрации телевизионного сигнала / В. В. Грицык и др. – № 4100554/24-09; Заявл. 05.08.86; Опубл. 30.12.87, Бюл. № 48. – 3 с.
17. А. с. 1385263 СССР, МКИ H 03 H 17/04. Цифровой фильтр / В. В. Грицык и др. – № 4152402/24-09; Заявл. 26.11.86; Опубл. 30.03.87, Бюл. № 12. – 5 с.
18. А. с. 1388992 СССР, МКИ H 03 M 3/02. Дельта-модулятор / В. А. Погрибной и др. – № 4103358/24-24; Заявл. 11.08.86; Опубл. 15.04.88., Бюл. № 14. – 3 с.
19. А. с. 1425711 СССР, МКИ G 06 F 15/336. Коррелятор / В. А. Погрибной и др. – № 4075380/24-24; Заявл. 11.05.86; Опубл. 23.09.88., Бюл. № 35. – 3 с.
20. А. с. 1481828 СССР, МКИ G 08 C 19/28. Устройство для передачи и приема телеметрической информации / В. В. Грицык и др. – № 4194553/24-24; Заявл. 14.11.86; Опубл. 23.05.89, Бюл. № 19. – 4 с.
21. А. с. 1509616 СССР, МКИ G 01 J 1/04. Фотометр / Р. Ф. Федорив и др. – № 4136059/31-25; Заявл. 20.10.86; Опубл. 23.09.89 , Бюл. № 35. – 5 с.
22. А. с. 1509920 СССР, МКИ G 06 F 15/16. Матричное вычислительное устройство / В. В. Грицык и др. – № 4247605/24-24; Заявл. 20.05.87; Опубл. 23.09.89, Бюл. № 35. – 3 с.
23. А. с. 1556286 СССР, МКИ G 01 J 1/44. Способ измерения интенсивности светового потока и фотометр для его осуществления / Р. Ф. Федорив и др. – № 4325130/31-25; Заявл. 09.11.87. – 7 с.
24. А. с. 1577474 СССР, МКИ G 01 J 1/44. Фотометр / Р. Ф. Федорив и др. – № 4418829/31-25; Заявл. 03.05.88. – 5 с.
25. А. с. 1711332 СССР, МКИ H 03 M 3/00. Кодер знаковой дельта-модуляции / В. А. Погрибной и др. – № 4714774/24; Заявл. 04.07.89; Опубл. 07.02.92., Бюл. № 5. – 4 с.
26. А. с. 1746523 СССР, МКИ H 03 K 5/22. Амплитудно-временой анализатор / В. А. Погрибной и др. – № 4876739/21; Заявл. 22.10.90; Опубл. 07.07.92., Бюл. № 25. – 4 с.
27. А. с. 1774345 СССР, МКИ G 06 F 15/336. Адаптивный автокорелятор / В. А. Погрибной и др. – № 4791432/24; Заявл. 14.02..90; Опубл. 07.11.92., Бюл. № 41. – 5 с.
28. Айзенберг И. Н. Универсальный логический элемент над полем комплексных чисел // Кибернетика. – 1991. – № 3. – С. 116 – 121.
29. Айзенберг Н. Н., Иваськив Ю. Л. Многозначная пороговая логика. – Киев: Наук. думка, 1977.
30. Батюк А. Е., Опотяк Ю. В. Перепрограмовуваний спец-

процесор для систем автоматичного управління і контролю. // 2-га Укр. конф. з автоматичного керування («Автоматика-95»). — Львів: НВЦ ІТІС, 1995.—Т. 2.—С. 71—72.
31. Бунь Р. А. Преобразование операторных макромоделей линейных подсхем в дифференциальные уравнения, дополненные уравнениями начальных условий // Отбор и передача информации.—1987.—Вып. 76.—С. 68—72.
32. Бунь Р. А., Васильев Е. Д. Алгоритм анализа электронных схем с инжекционным питанием по постоянному току // Отбор и передача информации.—1983.—Вып. 68.—С. 37—41.
33. Бунь Р. А., Дачук В. С. Моделирование глобального и региональных кругооборотов углерода в биосфере // Пробл. упр. и информатики.—1997.—№ 2.—С. 141—148.
34. Вальковский В. А. Практические методы усовершенствования параллельных структур программ // Техн. кибернетика.—1980.—№ 5.—С. 130—137.
35. Вальковский В. А. О синтезе оптимальных программ на базе вычислительных моделей // Программирование.—1980.—№ 6.—С. 27—36.
36. Вальковский В. А. Лекции по параллельному программированию. Параллелизм в ЭВМ и языках. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та, 1982.—88 с.
37. Вальковский В. А. Параллельное выполнение циклов. Метод параллелепипедов // Кибернетика.—1982.—№ 2.—С. 51—62.
38. Вальковский В. А. Некоторые методы параллельной организации массовых вычислений // Электрон. моделирование.—1983.—№ 3.—С. 13—20.
39. Вальковский В. А. Параллельное выполнение циклов. Метод пирамид // Кибернетика.—1983.—№ 5.—С. 51—55.
40. Вальковский В. А. К проблеме автоматизации разработки систолических систем // Архитектура и математическое обеспечение вычислительных систем. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та, 1984.—С. 87—100.
41. Вальковский В. А. Распараллеливание циклов общего вида методом пирамид // Кибернетика.—1985.—№ 4.—С. 16—21.
42. Вальковский В. А. Автоматический синтез параллельных алгоритмов // Вычислительные процессы и системы / Под ред. Г. И. Марчука. — М.: Наука, 1985.—С. 109—120.
43. Вальковский В. А., Зербино Д. Д. Реализация арифметических вычислений в знакопеременных кодах на клеточных автоматах // Пробл. упр. и информатики.—1997.—№ 2.—С. 49—64.
44. Вальковский В. А., Лебедев В. Г. Векторизаторы циклов // Автоматика и телемеханика.—1989.—№ 3.—С. 3—23.
45. Вальковский В. А., Малышкин В. Е. К уточнению понятия непроцедурности языков программирования // Кибернетика.—1981.—№ 3.—С. 55.
46. Войчишин К. С. О внутренней согласованности параметров солнечного цикла и предвычислении его ординат // Астрон. журн.—1987.—**64**, вып. 3.—С. 617—626.
47. Войчишин К. С. О возможности выявления функциональных зависимостей в циклической структуре гелиофизических индексов // Пробл. упр. и информатики.—1997.—№ 2.—С. 120—125.
48. Войчишин К. С., Кисиль В. В. Общее представление и алгоритмы обработки двумерной структуры солнечной цикличности // Отбор и передача информации.—1986.—Вып. 73.—С. 53—57.
49. Войчишин К. С., Стодилка М. И. О статистической устойчивости солнечной цикличности // Астрон. журн.—1982.—**59**, вып. 6.—С. 1171—1183.
50. Грицик В. В., Бунь Р. А., Дачук В. С. Діакоптичний підхід до моделювання біогеохімічного кругообігу вуглецю в біосфері // Доповіді НАН України.—1997.—№ 4.—С. 77—81.
51. Грицык В. В. Информационные технологии и системы: состояние и перспектива // Пробл. упр. и информатики.—1997.—№ 2.—С. 3—20.
52. Грицык В. В., Каминский Р. Н., Хома О. И. Об одной математической модели восприятия и обработки зрительной информации. – Львов: ФМИ, 1983.
53. Грицык В. В., Паленичка Р. М. Быстрый алгоритм ранговой фильтрации изображений // Автоматика.—1989.—№ 1.—С. 24—29.
54. Дацко А. В., Куксенко В. И., Федорив Р. Ф. Статистические способы оценки интегральных характеристик акустического сигнала // Изв. АН СССР.Физика Земли.—1990.—№ 8.—С. 86—92.
55. Драган Я. П. Структура и представления моделей стохастических сигналов. — Киев: Наук. думка, 1980.—348 с.
56. Драган Я. Енергетична концепція як підсумок та основа сучасної лінійної теорії стохастичних сигналів // Фіз. збірник Наук. т-ва ім. Т. Шевченка.—1993.—**1**.—С. 222—233.
57. Драган Я. П., Васильєв К. К., Казаков В. О. Прикладна теорія випадкових процесів і полів / Під. ред. Я. П. Драгана, В. О. Омельченка. — Харків—Львів—Тернопіль, 1993.—248 с.
58. Драган Я. П., Погрибной В. А., Рожанковский И. В. и др. Исследование тормозного рентгеновского излучения в эксперименте САМБО // Магнитосферные возмущения в период эксперимента САМБО-79. — М.: ИЗМИР АН СССР, 1980.—С. 9—15.
59. Драган Я. П., Куценко О. К., Погрибной В. А. Методика исследования потоков авроральных частиц // Космич. исслед. на Украине.—1984.—Вып. 18.—С. 46—51.
60. Драган Я. П., Рожков В. А., Яворский И. Н. Вероятностный анализ ритмики океанологических явлений. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987.—319 с.
61. Драган Я. П., Яворский И. Н. Ритмика морского волнения и подводные акустические сигналы. — Киев: Наук. думка, 1982.—248 с.
62. Каминский Р. Н. О временной модели оператора // Распараллеливание обработки информации. – Львов: ФМИ, 1985.—Т. 3.—С. 238—242.
63. Каминский Р. Н. О восприятии информации оператором при распознавании сложных образов, предъявляемых на экране дисплея // Распараллеливание обработки информации. – Львов: ФМИ, 1987.—Ч 2.—С. 192—195.
64. Каминский Р. Н. Оценка оперативности действий персонала в системах управления // Пробл. упр. и информатики.—1997.—№ 2.—С. 132—140.
65. Каминский Р. Н., Панасюк Е. Н. Моделирование работы человека оператора с помощью временных рядов // Распараллеливание обработки информации. – Львов: ФМИ, 1985.—Т. 3.—С. 243—244.
66. Каминский Р. Н., Хома О. И. Исследование поведения оператора при распознавании сложных образов // Распараллеливание обработки информации. – Львов: ФМИ, 1983.—Ч. 2.—С. 198—200.
67. Камінський Р. Н. Моделі і характеристики тестових зображень, створених випадковими процесами // Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів і полів. – Львів—Харків—Тернопіль,—1993.—Ч. 2.—С. 75—80.
68. Камінський Р. Н., Ємчик Л. Ф., Хома О. Й. Система імовірнісних оцінок і показників діяльності людини-оператора // Інформаційні технології та розпізнавання образів. – Львів—Харків—Тернопіль, 1993.—Т. 3.—С. 90—95.
69. Клим Б. П., Почапский Е. П., Федорив Р. Ф. Импульсный фотометр ИФ-1Л // Приборы и техника эксперимента.—1984.—№ 1.—С. 238—239.
70. Кравець І. І., Глова З. В., Ралько Р. М. та ін. Інформаційна система для автоматичного контролю корозійного стану технологічного обладнання / Перша міжнар. конф. з інформ. технологій і систем (ІТІС-93). — Львів: НВЦ ІТІС, 1994.—Т. 1.—С. 27—28.
71. Кравець І. І., Глова З. В., Ралько Р. М. та ін. Телеметрична система аеростатичних досліджень параметрів атмосфери / Перша міжнар. конф. з інформ. технологій і систем (ІТІС-93). — Львів: НВЦ ІТІС, 1994.—Т. 1.—С. 55—56.

72. Кужий Л. И., Попов Б. А., Фет Я. И. Табличные процессоры с неравными интервалами // Вычисл. системы. – 1981. – Вып. 90. – С. 132 – 144.
73. Кужій Л. І., Олексів Б. Я. Розпараделювання в багатопроцесорних системах, керованих потоками даних та їх налаштування з елементами оптимізації // Відбір та обробка інформації.–1997.–**11** (87).–С. 129 – 133.
74. Олексів Б. Я. Розробка інформаційних технологій налаштування високопродуктивних обчислювальних систем на базі однорідних обчислювальних середовищ: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Львів, 1994. – 23 с.
75. Опотяк Ю. В. Программно-аппаратный комплекс потоковой обработки информации на базе однородных вычислительных сред // Пробл. упр. и информатики. – 1997. – № 2. – С. 31 – 35.
76. Параллельная обработка информации: В 5 т. – Киев: Наук. думка, 1981. – Т. 1: Параллельные методы и средства распознавания образов / Под ред. А. Н. Свенсона. – 280 с.
77. Параллельная обработка информации: В 5 т. – Киев: Наук. думка, 1981. – Т. 2: Параллельные методы и средства распознавания образов / Под ред. В. В. Грицыка. – 280 с.
78. Параллельная обработка информации: В 5 т. – Киев: Наук. думка, 1981. – Т. 3: Вычислительные системы, структуры и среды для решения задач большой размерности / Под ред. В. В. Грицыка. – 288 с.
79. Параллельная обработка информации: В 5 т. – Киев: Наук. думка, 1981. – Т. 4: Высокопроизводительные системы параллельной обработки информации / Под ред. В. В. Грицыка. – 272 с.
80. Параллельная обработка информации: В 5 т. – Киев: Наук. думка, 1981. – Т. 5: Проблемно-ориентированные и специализированные средства обработки информации / Под ред. В. В. Грицыка. – 504 с.
81. Погрибной В. А. Бортовые системы обработки сигналов. – Киев: Наук. думка, 1984. – 216 с.
82. Погрибной В. А. Дельта-модуляция с переменным шагом в цифровой обработке сигналов // Докл. АН УССР. – А. – 1984. – № 3. – С. 68 – 71.
83. Погрибной В. А. Кросс-коррелятор с симметричными сдвигами // Изв. вузов. Приборостроение. – 1985. – **28**, № 6. – С. 39 – 42.
84. Погрибной В. А. Дельта-модуляция в цифровой обработке сигналов. – М.: Радио и связь, 1990. – 216 с.
85. Погрибной В. А., Модла Р. М., Рожанковский И. В. и др. Исследования тормозного рентгеновского излучения в эксперименте САМБО // Магнитосферные возмущения в период эксперимента САМБО. – М.: ИЗМИРАН, 1980. – С. 96 – 102.
86. Погрибной В. А., Модла Р. М., Рожанковский И. В. и др. Пути повышения надежности работы бортовых цифровых коммутационно-распределительных систем // Космич. исслед. на Украине. – 1984. – № 18. – С. 11 – 15.
87. Погрибной В. А., Модла Р. М., Рожанковский И. В. и др. Методика исследования потоков авроральных частиц // Космич. исслед. на Украине. – 1984. – № 18. – С. 20 – 25.
88. Погрибной В. А., Модла Р. М., Рожанковский И. В. и др. Адаптивная система для отбора и быстрого анализа нестационарных сигналов на борту искусственных спутников Земли // Науч. космич. приборостроение. – 1984. – Вып. 4. – С. 31 – 34.
89. Погрибной В. А., Модла Р. М., Рожанковский И. В. и др. Адаптивный корреляционный анализ локально-стационарных случайных процессов // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1996. – **39**, № 5. – С. 24 – 32.
90. Погрибной В. А., Блажкевич Б. И. Бортовые цифровые системы обработки сигналов для искусственных спутников Земли // Науч. космич. приборостроение. – 1984. – Вып. 3. – С. 43 – 46.
91. Погрибной В. А, Рожанковский И. В. О распределении кодового сообщения при наличии сбоев // Контрольно-измерительная техника. – 1982. – Вып. 31. – С. 44 – 47.
92. Погрибной В. А., Рожанковский И. В. Методика определения помехоустойчивости многоканального АЦП комбинированного уравновешивания // Изв. вузов. Приборостроение. – 1985. – **28**, № 2. – С. 37 – 41.
93. Погрибной В. А., Тимченко А. В. Единый подход к реализации цифровой фильтрации дельта-модулированных сигналов на однородных вычислительных средах // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1996. – **39**, № 8. – С. 16 – 22.
94. Погрібний В. О. Цифровий спектральний аналіз у реальному часі в бортових дослідженнях // Вісник АН УРСР. – 1982. – № 9. – С. 31 – 39.
95. Погрібний В. О. Інформаційні та процесорні пристрої роботів і систем управління. – Київ: Вища шк., 1990. – 136 с.
96. Погрібний В. О. Цифрова фільтрація сигналів у комбінованих форматах // Доповіді НАН України. – 1996. – № 2. – С. 55 – 59.
97. Погрібний В. О. та ін. Використання однорідних обчислювальних середовищ для задач комутації // Інформ. та нові технології. – 1996. – № 2. – С. 41 – 42.
98. Погрібний В. О. та ін. Кореляційний аналіз коротких часових рядів на основі проріджених різниць // Доповіді НАН України. – 1997. – № 2. – С. 47 – 51.
99. Погрібний В. О., Рожанківський І. В., Юрченко Ю. П. Основи інформаційних процесів в роботизованому виробництві / Під ред. В. О. Погрібного. – Львів: Світ, 1995. – 304 с.
100. Попов Б. А. Равномерное приближение с интерполированием // Отбор и передача информ. – 1980. – Вып. 60. – С. 56 – 67.
101. Попов Б. А. Равномерное приближение сплайнами. – Киев: Наук. думка, 1989. – 272 с.
102. Попов Б. А. Равномерное приближение четных и нечетных функций сплайнами // Электрон. моделирование. – 1987. – **9**, № 6. – С. 8 – 13.
103. Попов Б. А. Ускорение вычислений при выборе вида приближений // Отбор и обработка информ. – 1991. – Вып. 7 (83). – С. 87 – 93.
104. Попов Б. А., Теслер Г. С. Приближение функций для технических приложений. – Киев: Наук. думка, 1980. – 352 с.
105. Попов Б. А., Теслер Г. С. Вычисление функций на ЭВМ. Справочник. – Киев: Наук. думка, 1984. – 600 с.
106. Попов Б. О. Вибір вузлів при рівномірному наближенні сплайнами // Доповіді АН УРСР. – А. – 1986. – № 3. – С. 20 – 23.
107. Попов Б. О. Визначення похибки рівномірного наближення експоненціально-степеневими сплайнами // Доповіді АН УРСР. – А. – 1986. – № 7. – С. 17 – 20.
108. Русин Б. П. Системи синтезу, обробки та розпізнавання складноструктурованих зображень. – Львів: Вертикаль, 1997. – 264 с.
109. Федорів Р. Ф. Статистична радіометрія. – Київ: Наук. думка, 1979. – 267 с.
110. Федорів Р. Ф. Вимірювання параметрів слабких світлових потоків // Вісник АН УРСР. – 1983. – № 3. – С. 26 – 37.
111. Федорів Р. Ф. Вимірювання параметрів імпульсних коливань. – Київ: Наук. думка, 1984. – 152 с.
112. Федорів Р. Ф. Стохастичні вимірювальні сигнали // Вісник АН УРСР. – 1986. – № 6. – С. 103 – 104.
113. Федорів Р. Ф. Алгоритми оцінювання параметрів випадкових сигналів і полів // Імовірнісні моделі та обробка випадкових сигналів. – Львів – Харків – Тернопіль, 1993. – Т. 2. – С. 136 – 139.
114. Чинок В. М. Інформаційний відеоскоп – базовий елемент автоматизованого робочого місця космонавта-дослідника // Космічна наука і технологія. – 1998. – **4**, № 4. – С. 103 – 107.
115. Чинок В., Віхлій О., Конончук С. та ін. Програмно-керовані растри в системах введення зображень фізичних об'єктів // Обробка сигналів та зображень та розпізнавання образів: Праці I Всеукр. конф. – город: изд-во, 1992. – С. 181 – 182.
116. Aizenberg I. N. Processing of noisy and small-detailed gray-scale images using cellular neural networks // J. Electron. Imaging.–1997.–**6**, N 3.–P. 265 – 280.

117. Aizenberg I. N. Multi-valued non-linear filters and their implementation on cellular neural networks, Frontiers in Artificial Intelligence and Applications, vol. 41 Advances in Intelligent Systems / Ed. F. C. Morabito. — Amsterdam — Berlin — Oxford — Tokyo — Washington DC, IOS Press, 1997.–P. 135 — 140.
118. Aizenberg I. N., Aizenberg N. N. Universal binary and multi-valued neurons paradigm: conception, learning, applications // Lecture Notes in Computer Sciense / Eds J. Mira, R. Moreno-Diaz, J. Cabestany, Springer.–1997.–Vol. 1240.– P. 463 — 472.
119. Aizenberg N. N., Aizenberg I. N. CNN Based on Multi-Valued Neuron as a Model of Associative Memory for Gray-Scale Images // Proc. of the Second IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and their Applications. – Technical University Munich, Germany October 14 — 16, 1992. — P. 36 — 41.
120. Aizenberg N. N., Aizenberg I. N. Fast converged learning algorithms for multi-level and universal binary neurons and solving of the some image processing problems // Lect. Notes Comput. Sci. / Eds. J. Mira, J. Cabestany.–1993.– **686**.–P. 230–236.
121. Aizenberg N. N., Aizenberg I. N. CNN-like networks based on multi-valued and universal binary neurons: learning and application to image processing // Proc. of the Third IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and their Applications. – Rome, 1994.–P. 153 — 158.
122. Aizenberg N. N., Aizenberg I. N., Belikova T. P. Extraction and localization of important features on gray-scale images: implementation on the CNN // Proc. of the Third IEEE International Workshop on Cellular Neural Networks and their Applications (CNNA-94). – Rome, 1994.–P. 207 — 212.
123. Aizenberg N. N., Aizenberg I. N., Krivosheev G. A. Multi-valued neurons: learning, networks, application to image recognition and extrapolation of temporal series // Lect. Notes Comput. Sci. / Eds. J. Mira, F. Sandoval.–1995.– **930**. – P. 389 — 395.
124. Bun R. A. Information technologies for the simulation of complex nonlinear electrical circuits // Pattern Recogn. and Image Analysis. – 1994. — **4**, N 3. — P. 309 — 316.
125. Bun R. A. Numerical methods for modelling electrical circuits on the basis of high-order differential equations // The New Information Technologies in Science, Education, Medicine and Business: The XXIst International Conference. — Gurzuf– Moscow, 1994. — P. 117 — 118.
126. Bun R. A. Numerical Modelling Physical Processes and Phenomena Using Differential Equations with Higher-Order Derivatives // Computational Modelling and Computing in Physics: Int. Conf. — Dubna, 1996. — P. 46.
127. Bun R. A., Vasil'yev Ye. D. A numerical method for solving differential equations with derivatives of any order // Computation Mathematics and Mathematical Physics. — 1992. — **32**. — N 3. — P. 317 — 330.
128. Dovbush R.T. Parametric Models and Methods of Processing Two-Dimensional Signals with Cyclic Repetition // Pattern Recogn. and Image Analysis. — 1994. — **4**, N 3. — P. 295 — 297.
129. Dragan Ya. P. The energy theory of stochastic signals and a priori analysis of measurement principles used as a basis of information technologies // Pattern Recogn. and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. — 1991. — **4**, N 3. — P. 319 — 325.
130. Dragan Ya., Krivaya N. R., Yavors'kyi B. I. Estimating the periodicity in the structure of stochastic fields // Pattern Recogn. and Image Analysis: Advances in Mathematical Theory and Applications. — 1996. — **6**, N 1. — P. 76 — 77.
131. Dragan Ya., Sikora L.. Energetic concept in the theory of laser grounding // Proc. of Intern. Conf. on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET-96). — Lviv, 1996. — P. 379 — 381.
132. Dragan Ya., Yavors'kyi B., Chorna L., Sikora L. Energy theory of stochastic signals, separation of classes, and specification of statistical processing algorithms // 1st Europian Conference on signal analysis and prediction ESCAP-97, Prague. — P. 129 — 132.
133. Hrytsyk V. High-Productive Structures of Images Processing in Real Time: Problems and Solutions // Proc. of ITIAPR'90. — Lviv: Inst. of Physics and Mechanics, 1990. — Vol. 1. — P. 1 — 15.
134. Hrytsyk V. Information technologies and systems // Pattern Recogn. and Image Analysis. — 1994. — **4**, N 3. — P. 3 — 16.
135. Hrytsyk V. High-productive structures of parallel image processing in real time // The new information technologies in science, education, medicine and business: Proc. of the XXIst international conference. — Gurzuf — Moscow, 1994. — P. 24 — 32.
136. Hrytsyk V. Information technologies for image processing and recognation in real time systems // Dagstuhl-Seminar on Theoretical Foundations of Computer Vision. — Berlin, 1994. — P. 136 — 139.
137. Hrytsyk V., Bun R., Dachuk V. Diaqoptical Approach for Modelling Global Carbon Cycle in the Biosphere // Sustainable Development: System Analysis in Ecology: 2nd Practical Conf. — Sevastopol, 1996. — P. 32 — 33.
138. Hrytsyk V., Bun R., Dachuk V. Diaqoptical Approach for Modelling Global Carbon Cycle in the Biosphere // Fourth Ukraine — Russia — China Symposium on Space Science and Technology. — Kyiv, 1996. — P. 98 — 100.
139. Hrytsyk V., Kaminsky R. Generalized System Model of Man-Machine Interface for Image Processing // Pattern Recogn. and Image Analysis: Proc. of Third Intern. Conf. — Minsk, 1995. — **3**. — P. 212 — 217.
140. Hrytsyk V., Rozgoni Y. Algoritms and architecture of parallel computer system for the effective signal recognition // Proc. of Third Intern. Conf. on Computer Analysis of Images and Patterns. — Leipzig. — Akademic-Verlag Berlin, 1989. — P. 317 — 319.
141. Hrytsyk V., Rozgoni Y. A model and high effective means of structural speech recognition // Proc. of 15th Nation. Conf. on Automatic Speech Recognation. — Tallin, 1989. — P. 201 — 204.
142. Iavors'kyi B. I., Dragan Ia. P., Dombrovs'kyi L. I., Iavors'kyi V. I. Backgrounds for the On-Earth System Development on On-Line Visualization of the Telemeter Information Under the Active Experiment in Space // Proc. of IV Ukrainian — Russian — China Symposium on Space Science and Technology. — Publication NCAN. — Vol. 2. — Kyiv, 1996. — P. 813 — 815.
143. Iavors'kyi B. I., Dragan Ia. P., Dombrovs'kyi L. I., Iavors'kyi V. I. Backgrounds for the On-Earth System Development on On-Line Visualization of the Telemeter Information Under the Active Experiment in Space // Proc. of IV Ukrainian — Russian — China Symposium on Space Science and Technology. — Publication NCAN. — Vol. 2. — Kyiv, 1996. — P. 813 — 815.
144. Kaminskij R. N. Estimation of Operator Activity in Display System of Images Processing // Proc. of First International Conference on Information Technologies for Image Analysis and Pattern Recognition. ITIAPR 90, Oct. 22 — 28. – Lviv, 1990. — Vol. 2. — P. 291 — 295.
145. Kaminskij R. N. Mathematical modeling of binary image and object and noise interaction by scanning method // Machine Graphics and Vision. — 1996. — **5**, N 1/2. — P. 141 — 146.
146. Kaminskij R. N. The Time Factor in Estimating the Human Operator Activity in the Human-Machine Interface of Information Technologies // Pattern Recogn. and Image Analyses. — 1994. — **4**, N 3. — P. 326 — 334.
147. Pogribny V., Modla R. M. et al. Increasing the shipborne telemetric systems capacity with the channel frequency division // Abstracts of papers of 34 Congress of the International Astronautical Federation. — Budapest, 1983. — P. 33 — 35.
148. Pogribny V., Savchin O. Programming peculiarity of homogeneous computational media for tasks of correlation analyse with sign DM // Proc. Conf. on the Signal transmission

and processing Problems. — Riga: RTU, 1991. – P. 49–53.
149. Pogribny W., Modla R. M. i in. Algorytmy i realizacje kompresji sygnaelyw z zastosowaniem analizy ekstremalnej // VI Mikdzynarodowa Konferencja i Wystawa Wojskowa konferencja telekomunikacji i informatyki. — Jabionna, 1997. – S. 217–224.
150. Pogribny W., Modla R. M. i in. Analiza ekstremalna oraz kompresja danych na podstawie DM // Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji. – 1997. – **43**, N 1. – S. 109–120.
151. Popov B. A. Information Technology of the Formulaic Representation of Physical Relationship // Pattern Recogn. and Image Analysis. – 1994. – **4**, N 3. – P. 306–312.
152. Popov B. A. Nonlinear Best Chebyshev Approximation and Splines // MMET'96. VIth Intern. Conf. on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory: Proc. – Lviv, 1996. – P. 128–131.
153. Popov B. A. Hare D. E. G. Using Computer Algebra to Construct Function Evaluation Methods // Maple Tech. – 1996. – **3**, N 3. – P. 18–23.
154. Tkachenko R. Accelerated learning of multilayred neural networks on the base of the new paradigm // Third Conference Neural Networks and Their Applications. — Kule, Poland, Oct. 14–18, 1997. – P. 129–130.
155. Valkovskii V. A. An optimal algorithms for solving the problems of digital filtering / Pattern Recogn. and Image Analysis. – 1994. – **4**, N 3. – P. 241–247.
156. Valkovskii V. A., Zerbino D. D. Computations on Cellular Automata with Defects / LNCS. – 1997. – **1277**. – P. 136–144.
157. Vasilyev Ye., Bun R. Radioelectronic circuits modelling on the basis of high-order differential equations // The Integration of Purpose Specialists' Training Systems and Automation Technical Systems of Various Purpose: The Intern. Conf. — Alushta–Moscow, 1990. – P. 75.
158. Voichyshyn K. C. The Procedure of Detecting the General Regularities of the Time Structure of Cyclic Signals // Pattern Recogn. and Image Analysis. – 1994. – **4**, N 3. – P. 288–294.
159. Voichyshyn K. C., Dovbush R. T. Regularity Analysis of two-Dimensional Structure of Solar Cyclicity // ITIAPR'90: Proceedings. — 1990. – Vol. 2. – P. 379–380.

INFORMATION TECHNOLOGIES AND SYSTEMS IN SPACE RESEARCH: STATE AND PROSPECTS

V. V. Hrytsyk

We present some results of the main fundamental and applied investigations in the field of information technologies and high-performance computing systems for the space exploration which were carried out at the Computer Science Section of the Western Scientific Center of the National Academy of Sciences of Ukraine. The main scientific papers are reviewed. The current state and prospects of the research and developments and their place in the world science are considered.