

**Національна академія наук України
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова**

ВАРАВА Іван Андрійович

УДК 004. 942

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
СКЛАДНИМ НАУКОВИМ ЕКСПЕРИМЕНТОМ
В БАГАТОФАЗНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

05.13.06 – інформаційні технології

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України.

Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, професор
Писаренко Валерій Георгійович,
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
НАН України, завідувач відділу
математичних проблем прикладної інформатики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Корнієнко Богдан Ярославович,
Національний авіаційний університет,
завідувач кафедри комп'ютеризованих
систем захисту інформації,

кандидат технічних наук, доцент
Зінченко Валерій Петрович,
Національний технічний університет України
«КПІ», доцент кафедри автоматизації
експериментальних досліджень.

Захист відбудеться «__» _____ 2016 р. о(об) _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.194.03 в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України за адресою:
03680, МСП, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічному архіві Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України за адресою:
03680, МСП, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40.

Автореферат розісланий «___» _____ 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.Б. Галелюка

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Останнім часом у світі зростає інтерес до інформаційних технологій як до інструментарію проведення досліджень природно-технічних об'єктів та швидкоплинних техно-екологічних процесів (ТЕП), у тому числі небезпечних. Це пов'язано зі зростаючою складністю досліджуваних об'єктів різних предметних галузей. Особливо ця складність збільшується при розгляді багатофазних середовищ (БФС), які потребують застосування відповідних методів дослідження, ефективне застосування яких пов'язано з використанням інформаційних технологій (ІТ). Інформаційні системи підтримки досліджень мають дозволяти вченим швидко перевіряти гіпотези та отримувати і опрацьовувати експериментальні дані для їх верифікації. Розвиток методів автоматизації досліджень пов'язується з прогресом у галузі ІТ, зокрема, теорії математичного моделювання та принципів оптимізації.

Основний вплив на розвиток методів планування експериментів зробили дослідження таких вчених: Р. Фішера, Дж. Бокса, Р. Уільсона, В.В. Налімова, Ю.П. Адлера та інших. Дослідженням багатофазних середовищ різних типів приділяли увагу Р.І. Нігматулін, Г.А. Губайдулін, Б.Я. Корнієнко та інші. Моделі багатофазних середовищ розроблено в працях В.Б. Алексеєва, Б.М. Смірнова. Зокрема, в металургії заслуговують на увагу роботи Ю.З. Бабаскіна, В.І. Дубоделова, В.О. Єфімова, Ю.Г. Кривоноса, Л.Ф. Жукова, В.Г. Писаренка, А.А. Смульського, С.Я. Шипицина та інших. Чисельні методи математичного моделювання досліджено А.А. Самарським, С.К. Годуновим, О.М. Білоцерківським, С.О. Лук'яненком. В галузі автоматизації науково-технічного експерименту виділяються роботи В.М. Єгіпка, Ф.М. Горіна, С.Г. Радченка, В.П. Зінченка. Проблеми керованого термоядерного синтезу розглянуто у роботах Л.А. Арцимовича, І.Є. Тамма, А.Д. Сахарова, Б.В. Кутєєва, В.М. Тимохіна, А.О. Москвитина, С.Ю. Сергєєва, В.І. Позняка, В.Ф. Губарева, В.П. Боюна, В.А. Яворського, Р.Р. Хайрутдінова, В.Е. Лукаша та інших. Дослідженням органічних багатофазних середовищ, наприклад, крові, присвячено роботи С.М. Лосєва, І.Д. Войтовича, М.А. Пріміна, М.М. Будника.

Отже, актуальність теми дисертації зумовлена необхідністю створення методологічного підходу щодо розробки інформаційних технологій управління складними науковими експериментами в багатофазних середовищах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертаційного дослідження відповідає основним науковим напрямам та найважливішим проблемам фундаментальних досліджень на 2014–2018 рр., затвердженим Постановою Президії Національної академії наук України від 20.12.2013 р. № 179, зокрема: п. 1.2.1.1 «Розробка математичних методів та систем моделювання об'єктів та процесів»; п. 1.2.1.6 «Створення теорії

обчислювального експерименту»; п. 1.2.5.2 «Оптимізація керованих систем відносно різних критеріїв якості: швидкодії, мінімуму затрат енергії, мінімізації відстані»; п. 1.2.5.3 «Дослідження та створення систем керування процесами, що описуються системами диференціально-різницевих, інтегродиференціальних, інтегральних рівнянь, рівнянь з розподіленими параметрами та дробовими похідними» та п. 1.6.7.2 «Теоретичне прогнозування структури та властивостей нових речовин та матеріалів». Дисертація виконана відповідно до наукового напрямку відділу математичних проблем прикладної інформатики, реалізованого в рамках науково-дослідних тем: «Розробити основи комплексних інформаційно-аналітичних технологій інтегрування знань і генерація ієрархічних моделей керованих складних систем спеціального призначення» (№ держреєстрації 103U003267, 2003–2007), де здобувачем розвинуто науково-методичний підхід до постановки складного науково-технічного експерименту в багатофазному середовищі; «Розробка основ технологій інтегрування знань підтримки моделювання і проектування інтелектуалізованих систем спеціального призначення» (№ держреєстрації 0108U001243, 2008–2012), де автором запропоновано функціонали якості управління на прикладі процесу пелет-інжекції; «Розробка системи інтелектуальних робіт для дистанційного моніторингу з використанням спеціальної технології обміну оперативними даними для боротьби з пожежами на шахтах і з проявами тероризму на морі та на суходолі» (№ держреєстрації 0109U005518, 2009), де автором запропоновано алгоритми обробки моніторингової інформації; «Розробка методів і засобів віртуального проектування робіт-розвідників для виявлення та ліквідації техно-екологічних подій» (№ держреєстрації 0113U005524, 2013–2014), де автором для оптимального керування безпілотним літальним апаратом запропоновано алгоритм оптимального керування в БФС з урахуваннями стохастичних поривів вітру; «Розробити інтелектуалізовані роботи для задач моніторингу, прогнозування та нейтралізації небезпечних явищ» (№ держреєстрації 0113U003148, 2013–2015), де автором розроблено інформаційні моделі для проектування автономних мобільних робіт; «Розробити теоретичні основи моделювання багаторівневих біотехнічних та природотехнічних систем для рішення задач складних міждисциплінарних досліджень» (№ держреєстрації 0114U000361, 2014–2018), де автором розроблено базові принципи створення інформаційно-аналітичних систем підтримки віртуального моделювання природо-технічних комплексів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення науково-методичних і практичних підходів до розробки інформаційних технологій управління складними науковими експериментами у багатофазних середовищах.

Реалізація мети обумовила необхідність вирішення таких основних завдань:

- провести огляд і аналіз інформаційних технологій, які використовуються при експериментальних дослідженнях багатофазних середовищ;
- провести системний аналіз проблеми управління складними науково-технічними експериментами у багатофазних середовищах;
- запропонувати класифікацію багатофазних середовищ;
- розробити функціонали якості управління складним науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі на основі розробленої класифікації;
- розробити елементи інформаційних технологій для проведення експериментів по вивченню кристалізації металевих розплавів;
- розробити елементи інформаційних технологій для задач проектування автономних мобільних роботів, які функціонують у багатофазному середовищі;
- розробити інформаційну систему дослідження процесу гасіння небезпечного розряду в робочій камері токамака методом пелет-інжекції.

Об'єкт дослідження – складні керовані науково-технічні експерименти з процесами в багатофазних середовищах.

Предмет дослідження – нові інформаційні технології розробки автоматизованих систем керування науковим експериментом з багатофазними середовищами.

Методи дослідження. У процесі дослідження використано методи: логічного узагальнення і наукової абстракції, – для уточнення категорій «фаза», «багатофазне середовище»; математичне моделювання, – для проведення імітаційного моделювання процесів, які перебігають в багатофазних середовищах; статистичного, кореляційного та кластерного аналізу, – для визначення розподілу значень ознак фаз у багатовимірному просторі ознак; графічні, – для візуального подання отриманих результатів дисертаційного дослідження.

Інформаційну базу дослідження склали: наукові праці провідних вітчизняних і зарубіжних учених, результати проведених автором наукових досліджень, матеріали науково-практичних конференцій та семінарів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у поглибленні й удосконаленні теоретико-методичних положень і практичних підходів до створення систем керування науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі та визначається тим, що:

вперше:

- отримано загальну класифікацію типів багатофазового середовища;
- запропоновано загальну концепцію урахування багатофазності середовища при постановці складного науково-технічного експерименту;
- обґрунтовано структуру функціоналу, який враховує базові параметри процесу керування конкретним багатофазним середовищем;

- запропоновано принципи побудови багаторівневої інформаційної моделі керованої кристалізації розплаву металу із застосуванням варіанта методу Монте-Карло, адаптованого до завдання еволюції за часом вихідного перегрітого рідкого розплаву з інтенсивними конвекційними потоками;
 - для оптимального вибору параметрів віртуального експерименту по пелет-інжекції з метою гасіння небезпечного розряду плазми в токамаці запропоновано функціонал оптимального керування експериментом;
 - для оптимального керування кристалізацією металевого розплаву запропоновано функціонал оптимального керування експериментом;
 - для оптимального керування безпілотним літальним апаратом (БПЛА) запропоновано функціонал оптимального керування експериментом;
- удосконалено:*
- науково-методичний підхід щодо управління складним науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі;
 - алгоритм автоматизованого контролю хімічного складу та фізико-механічних властивостей сплавів методом диференційного термічного аналізу без еталонних зразків;
 - алгоритми підвищення якості зображення для наступного розпізнавання бортовим процесором БПЛА;
- набули подальшого розвитку:*
- принципи автоматизації науково-технічних експериментів;
 - елементи інформаційних технологій для задач проектування автономних мобільних роботів, які функціонують у багатофазному середовищі;
 - методи імітаційного моделювання процесів кристалізації розплаву.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що її теоретичні та методичні положення доведено до рівня конкретних інформаційних технологій управління складним науково-технічним експериментом і дозволяють оптимізувати відповідні процеси в багатофазних середовищах.

Розроблені автором науково-методичні підходи та рекомендації використано при розробці програмного забезпечення (ПЗ) «TermoExp» (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 17697 від 21.08.2006). Результати дисертаційного дослідження використовуються у діяльності компанії «Robosoft» (м. Дніпропетровськ), у наукових дослідженнях Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України (ФТІМС НАНУ, м. Київ) та на підприємствах металургійного комплексу.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, висновки і рекомендації, що виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані лише ті ідеї, положення та матеріали, які є результатом власних досліджень автора.

У роботах, написаних у співавторстві, автору належать такі результати: [1] – розроблено чисельний метод розв’язку диференціальних рівнянь у частинних похідних за допомогою кубічних сплайнів із застосуванням до моделювання термоядерної плазми, проведено чисельні експерименти з моделями динаміки термоядерної плазми; [2] – розроблено підсистему розпізнавання навігаційних орієнтирів мобільним робото-технічним пристроєм; [3] – описано задачу керування науковим експериментом по керованому термоядерному синтезу та проведено математичне моделювання процесу гасіння небезпечного розряду в робочій камері токамаку; [4] – побудовано чисельний алгоритм та програмне забезпечення для імітаційного моделювання процесу пелет-інжекції; [5, 13, 16] – розроблено нейромережеві системи розпізнавання образів та проведено їх порівняльний аналіз, розроблено алгоритм розкладання мультиспектрального зображення по діапазонах частот електромагнітного випромінювання; [6, 12] – розроблено елементи інформаційних технологій для задач проектування автономних мобільних роботів, які функціонують в багатофазному середовищі; [7] – запропоновано обернено-просторову задачу теплопровідності та проаналізовано її розв’язок; [9] – розроблено авторські імітаційні моделі динаміки атомів в розплаві, який кристалізується та проведено чисельні експерименти на кластері СКІТ-03 Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України; [14] – для забезпечення функціонування інтелектуальної робото-технічної системи в екстремальних умовах середовища з використанням моніторингової інформації від блоку ідентифікації стану середовища розроблено схему управління експериментом з термоядерною плазмою; [15] – розроблено методи керування складними системами на основі систем диференціальних рівнянь в частинних похідних на прикладі процесу гасіння небезпечного розряду в робочій камері термоядерного реактору; [17, 22] – сформульовано постановку задачі та проведено моделювання кристалізації об’єму розплаву; [18] – проведено віртуальні експерименти з моделювання динаміки термоядерної реакції та побудови поверхонь відклику запропонованих функціоналів якості; [21] – розроблено метод автоматизованого визначення фаз сплавів, розроблено програмне забезпечення для прогнозування фізико-механічних властивостей; [22] – розроблено експериментальну установку та програмне забезпечення для запису та аналізу термокривих; [19, 20, 23] – розроблено алгоритми управління кристалізацією та бази знань моделей кристалізації сплавів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи було представлено на науково-практичних конференціях та семінарах різних рівнів, зокрема на: спільних семінарах відділів математичних проблем прикладної інформатики ІК НАНУ та дисперсійного зміцнення сплавів ФТІМС НАН України (Київ, 2007); XI Міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика–2004» (Київ, 2004); Міжнародній

науково-технічній конференції «Багатопроекторні обчислювальні й керуючі системи» (Дивноморське, Росія, 2007); «KDS-2005» (Варна, Болгарія, 2005); Міжнародному симпозиумі «Питання оптимізації обчислень (ПОО–XXXV)» (Кацивелі, АР Крим, Україна, 2009); Боголюбівські читання «DIF-2013» (м. Севастополь, АР Крим, Україна), де вони отримали схвальну оцінку.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 23 наукових працях, серед них: 3 [8, 10, 11] належать особисто автору, 9 [3–11] статей, що входять до Переліку наукових фахових видань, 8 матеріалів і тез доповідей на наукових конференціях та 2 [1, 2] монографії у співавторстві.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел, що містить 139 найменувань. Повний обсяг роботи складає 237 сторінок. Основний текст дисертації складає 162 сторінки, 58 рисунків, 8 таблиць, 9 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено мету і завдання роботи, сформульовано об'єкт, предмет та методи дослідження, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів дослідження, визначено структуру дослідження.

У **першому розділі** дисертації на основі комплексного аналізу наукових літературних джерел досліджено й узагальнено еволюцію інформаційних технологій у наукових дослідженнях. На цій основі конкретизовано й поглиблено теоретико-методичний підхід до створення систем управління складними науковими експериментами в багатофазних середовищах за рахунок системного опрацювання наступних сутностей експерименту: об'єкта предметної області, динаміки середовища, дестабілізуючих факторів, типів фаз середовища, сенсорних пристроїв для задач оптимального керування, критеріїв оптимізації, методів оптимального управління середовищем.

Отже визначено, що:

1) основною задачею планування експерименту є розробка методів підвищення ефективності експериментальних досліджень. Вона полягає у мінімізації витрат засобів та часу на проведення експерименту, підвищенні статистичної точності та достовірності отримуваних результатів. Застосування методів планування експерименту дозволяє зменшити число опитів і виявити напрямок подальшого продовження дослідження;

2) система управління науковим експериментом, як правило, включає такі основні елементи: систему збору інформації, систему обробки даних та дослідника, також система повинна мати зручний графічний інтерфейс на всіх етапах експерименту. Система управління науковим експериментом реагує на зміну умов експерименту, отриманих шляхом експрес-обробки та аналізу даних.

Поставлено задачі дисертаційного дослідження:

1) провести огляд і аналіз інформаційних технологій, які використовуються при експериментальних дослідженнях багатофазних середовищ;

2) розробити науково-методичний підхід управління складним науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі з відповідним забезпеченням;

3) розробити елементи інформаційних технологій для проведення експериментів по вивченню кристалізації металевих розплавів;

4) розробити елементи інформаційних технологій для задач проектування автономних мобільних роботів, які функціонують у багатофазному середовищі;

5) розробити інформаційну систему дослідження процесу гасіння небезпечного розряду в робочій камері токамака методом пелет-інжекції.

Схему подальшого дослідження, побудованого на основі запропонованої структури функціоналу, що враховує базові параметри процесу керування конкретним багатофазним середовищем, показано на рис. 1.

В подальших розділах дисертації на основі розробленого в розділі 2 функціоналу наведено конкретні застосування сформованих критеріїв якості для наступних задач:

1) керування процесом кристалізації металевих розплавів для отримання дрібнозернистої структури виробу з підвищеною статичною і ударною міцністю, холодноламкістю, корозійною стійкістю (розділ 3);

2) автоматизація вибору аеродинамічних характеристик при проектуванні фюзеляжу БПЛА, включаючи оптимізацію залежності відношення підйомної сили до сили опору та експлуатаційних значень швидкості польоту (число Рейнольдса) і кута атаки набігаючого повітряного потоку (розділ 4);

3) вибір маршруту підводного апарату (ПА) з оптимізацією траєкторії та витрат енергоресурсів при виконанні ним програми обстеження затонулого об'єкта чи підводних інженерних споруд, коли необхідно забезпечити мінімальність спотворення ПА вихідного тривимірного поля обтікання обстежуваного об'єкта потоками рідини (розділ 4);

4) створення ПЗ побудови тривимірної структури вихрового поля як розв'язку тривимірного нелінійного рівняння вихорів для конкретних інженерних задач типу аеродинаміки вихрових потоків поблизу крилового профілю БПЛА чи тривимірної структури придонної течії при нестационарному обтіканні подовженого тіла, яке частково засипане донним ґрунтом на поверхні морського дна (розділ 4);

5) керування термоядерною плазмою (ТЯ-плазмою) у фазах нейтрального газу, електронів, позитивно заряджених іонів, твердого ТЯ-палива у вигляді пелет для підтримки оптимального розвитку термоядерної реакції (розділ 5).

Розділ 2. Функціоналу критерію якості загального вигляду:

$$J = \int_0^T \left| Q^*(t, \vec{x}) - \overline{Q}(L, t, \vec{x}) \right|^\gamma dt, \gamma \geq 1 \quad (1)$$

де $Q^*(t, \vec{x})$ – задана зміна контролюваної величини

Розділ 3. Предметна галузь – керування кристалізацією металевого розплаву

Постановка задачі:

Попередня обробка термічних кривих, фільтрація від шуму

Критерій (розпізнавання фаз)

$$\int_b^a |T''(t)|^2 dt \rightarrow \min$$

де $T(t)$ – температурна крива

Тип середовища, його фази:

сплав; тверда, рідка, твердіюча, рідко-тверда суміш (semisolid)

Розділ 4. Предметна галузь – IT проектування автономних мобільних роботів, що функціонують у багатофазному середовищі

Постановка задачі:

покращення зображень для розпізнавання навігаційних орієнтирів бортовим процесором на основі покращення якості зображень

Критерій (оцінки контрастності зображення)

$$\Phi = \left| \max_{I \in \Omega} \langle n(I)_k \rangle_\delta - \max_{I \in \Psi} \langle n(I)_k \rangle_\delta \right| \rightarrow \min_{\text{var } k, \delta, I_k}$$

$Q^*(t, \vec{x}) = I$ – інтенсивність яскравості пікселя

Тип середовища, його фази:

Контрастність; світлий, темний, яскравий, шкала сірого

Розділ 5. Предметна галузь – Керування термоядерним синтезом

Постановка задачі:

гасіння небезпечного розряду в робочій камері токамака

Критерій (якість гасіння за критерієм мінімізації густини)

$$F(\alpha, \beta, t_m) = \alpha \int_a^b r dr \int_0^{t_m} |n(r, t=0) - n(r, t)| dt \Rightarrow \min$$

$Q^*(t, \vec{x}) = n(t, r)$ – густина іонів по простору

Критерій (якість гасіння за критерієм мінімізації часу)

$$F(\alpha, \beta, t_m) = \alpha \int_a^b r dr \int_0^{t_m} |n(r, t=0) - n(r, t)| dt + \beta t_m \Rightarrow \min$$

$Q^*(t, \vec{x}) = n(t, r)$ – густина іонів по простору

Тип середовища, його фази:

плазма; нейтральна плазма, іонізована плазма, іони пелети, електрони

Рис. 1. Структура дослідження на основі функціоналу критерію якості управлінням складним науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі

У другому розділі для задач цілеспрямованого керування складним науковим експериментом розроблено функціонали якості (ФЯ), який є логічною основою для використання в якості критеріїв оптимального управління складними науковими експериментами з різними багатофазними середовищами.

В дисертації розвивається науково-методичний підхід до постановки складного науково-технічного експерименту в багатофазному середовищі, який полягає в наступному. Управління процесами в багатофазному середовищі розглядається на трьох рівнях ієрархії:

- рівень цілого багатофазного середовища;
- рівень фазових переходів;
- рівень окремих фаз.

Така класифікація обумовлена масштабом різних матеріальних частинок, що змішані між собою, та процесами різноманітної природи. На відміну від однорідного середовища, при дослідженнях багатофазних середовищ необхідно враховувати міжфазову взаємодію. Тому системи управління експериментами з багатофазними середовищами повинні мати розширені апаратне, математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення. Витрати на перевірку гіпотез за допомогою лабораторних експериментів в БФС значно вищі порівняно з однофазними середовищами. В дисертації пропонується комплексний підхід до процедури проведення експерименту, що характеризується застосуванням проблемно-орієнтованих програмно-апаратних засобів автоматизації підтримки наукових досліджень в БФС.

На основі створеної класифікації багатофазних середовищ вперше розроблено загальний вигляд функціоналу якості планування складних наукових експериментів, що враховує оптимальні результати чисельних розв'язків віртуальних експериментів.

В загальному випадку необхідно мінімізувати функціонал наступного вигляду:

$$J = \int_0^T |Q^*(t, \bar{x}) - \bar{Q}(L, t, \bar{x})|^\gamma dt, \gamma \geq 1, \quad (1)$$

де $Q^*(t, \bar{x})$ – задана зміна контрольованої величини.

У **третьому розділі** запропоновано принципи побудови багаторівневої інформаційної моделі керованої кристалізації розплаву металу із застосуванням варіанту методу Монте-Карло, адаптованого до задачі еволюції за часом вихідного перегрітого рідкого розплаву з інтенсивними конвекційними потоками.

На основі функціоналу (1) та згідно рис. 1, для задачі попередньої обробки термічних кривих, фільтрації від шуму обґрунтовано використання наступного критерію якості:

$$\int_b^a |T''(t)|^2 dt \rightarrow \min, \quad (2)$$

де ідеальна температурна крива $T(t)$ відіграє в (1) роль $Q^*(t, \bar{x})$, а роль $\bar{Q}(L, t, \bar{x})$ відіграє крива значень, отримана з цифрового датчика дискретно.

Розроблено автоматизовану систему «ТермоЕксперт» визначення хімічного складу металевих розплавів на основі диференційного термічного аналізу (рис. 2). Для цього було проаналізовано базу даних термокривих по алюмінієвих сплавах, яка накопичувалась декілька останніх десятиліть співробітниками ФТІМС НАН України.

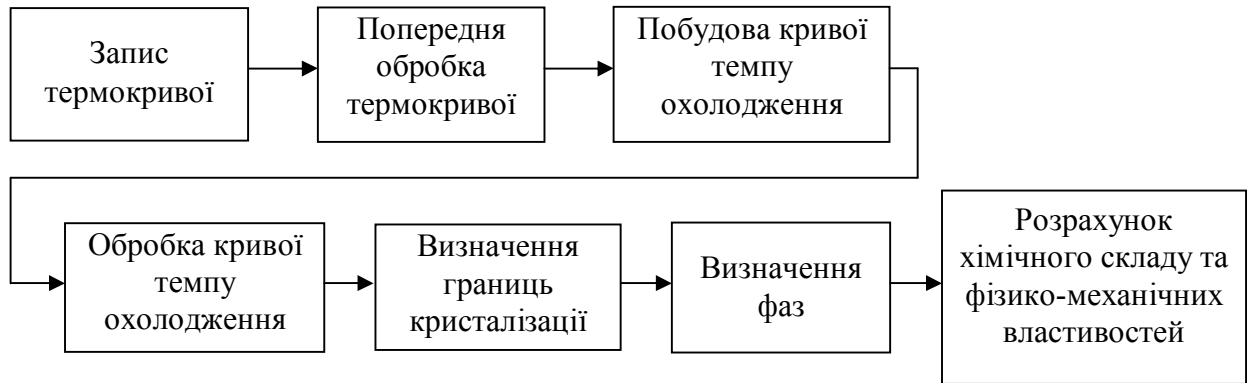


Рис. 2. Схема роботи ПЗ «ТермоЕксперт»

Розроблено алгоритм визначення відношення термокривих до навчальної вибірки (рис. 3). На основі аналізу виділено помилкові криві та вилучено їх із навчальної вибірки.

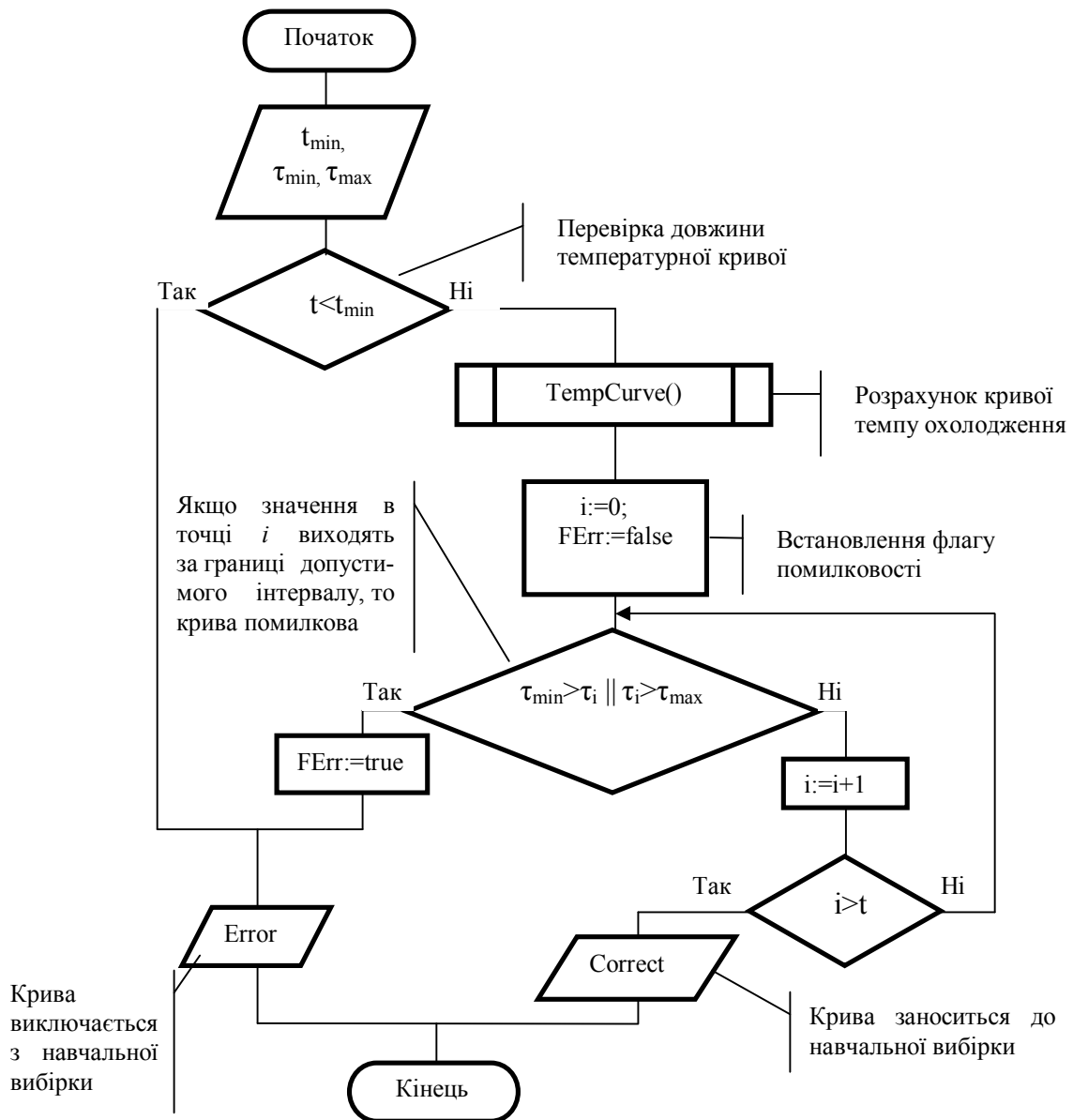


Рис. 3. Алгоритм визначення відношення термокривих до навчальної вибірки

Досліджувались методи попередньої обробки кривих температури та темпу охолодження з метою видалення стохастичної компоненти сигналу пов'язаної із шумами термопар та АЦП. В результаті метод фільтрації за допомогою вейвлетів було відкинуто, оскільки згладжування в особливих точках кривої темпу охолодження відбувалося некоректно. Для використання було обрано метод згладжування сплайнами.

При дослідженні запису термокривих було висунуто гіпотезу про вплив циркулюючих мікровихорів у рідкому розплаві на значення температури, яка знімалась за допомогою термопар. Для перевірки гіпотези було розроблено експериментальну установку багатоточкового термоаналізу та ПЗ на основі методу попарної ковзкої кореляції. Між чотирма термопарами кругова відстань збільшувалась на заданий кут $\alpha = 36^\circ$. В результаті досліджень було виявлено дисипацію гарячого потоку розплаву в ізложниці (рис. 4).

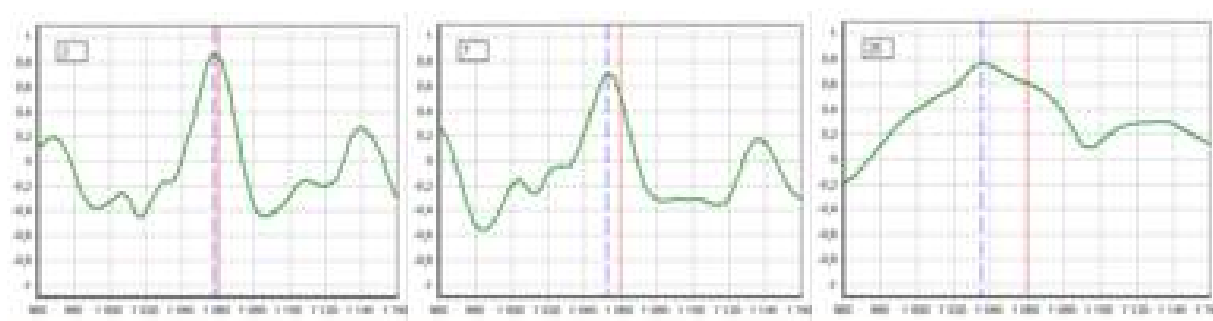


Рис. 4. Результати експерименту на установці «Мульти-ДТА»

Максимуми на графіках відповідають максимальним значенням кореляційної залежності між сусідніми термокривими для 1-2, 2-3 та 3-4 термопар.

На кластері СКІТ-3 Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України проведено обчислювальні експерименти процесу дисипації швидкого потоку атомів у розплаві, що кристалізується, та визначено залежність часу кристалізації від масоенергетичних характеристик потоку. Отримано оцінки часу релаксації від початкового стану до стану із квазірівновісним розподілом швидкостей атомів.

У дисертаційній роботі поставлено і розв'язано просторово-обернену задачу теплопровідності на основі різницевої схеми Кранка – Ніколсона, що дала можливість змодельовати поле температур в околі термопар і підтвердити правомірність застосування єдиного сенсору в методі диференційного термічного аналізу без еталонних зразків.

У **четвертому розділі** при застосуванні науково-методичного підходу щодо управління складним науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі для задач керування мобільним роботом (типу БПЛА або підводного робота) було запропоновано представляти навколишнє середовище у вигляді багатофазного середовища з візуальною інтерпретацією

фаз. Конкретній фазі відповідає фрагмент сцени з квазіоднорідними спектральними характеристиками, що зафіксовано доступними сенсорами.

Розроблено метод покращення зображень для розпізнавання навігаційних орієнтирів бортовим процесором автономного мобільного роботу шляхом підвищення контрастності між елементами сцени, що відрізняється адаптивним налаштуванням алгоритму на розпізнавання типових фаз навколишнього середовища.

Адаптовано функціонал якості (1) керування складним науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі для процесу керування БПЛА, який направлений на збільшення контрастності між об'єктами сцени, що відповідають різним фазам оточуючого середовища.

Розроблено ПЗ WIND-UAV, яке доповнює комерційний програмний пакет ANSYS/FLOTRAN і дозволяє генерувати APDL-файл з метою визначення значень підйомної сили, сили лобового опору та аеродинамічної якості крила (рис. 5). В дисертаційній роботі пропонується технологія використання ПЗ двох типів CAD та CFD за допомогою проміжного ПЗ з метою проведення експериментів по моделюванню поведінки автономних пристроїв у багатофазовому середовищі.

Розроблено окремі компоненти інформаційного забезпечення передпроектного проектування автономних мобільних роботів, що дозволяє визначити аеродинамічні характеристики форм шляхом імітаційного моделювання взаємодії з оточуючим середовищем.

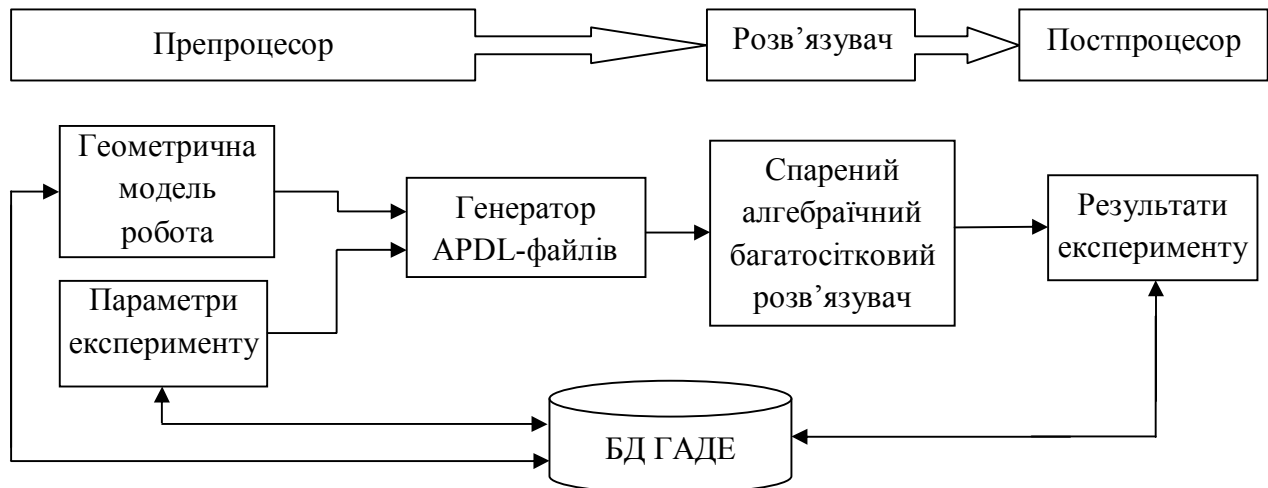


Рис. 5. Схема автоматизованої системи гідро аеродинамічних експериментів (ГАДЕ) з автономними мобільними роботами

Для оптимізації контрастності зображення на основі (1) запропоновано функціонал наступного вигляду:

$$\Phi \equiv \left| \max_{I \in \Omega} \langle n(I)_k \rangle_{\delta} - \max_{I \in \Psi} \langle n(I)_k \rangle_{\delta} \right| \rightarrow \min_{\text{var: } k, \delta, I_b} \quad (3)$$

де Ω та Ψ – дві множини значень змінної інтенсивності I :

$$\Omega = [0, I_b); \Psi = [I_b, I_{\max}]. \quad (4)$$

Розроблено алгоритм слідкуючої системи траєкторії руху БПЛА.

У **п'ятому розділі** приводиться постановка обчислювального експерименту для дослідження управління процесом пелет-інжекції з метою гасіння небезпечного розряду в робочій камері енергетичної установки типу токамак. Процес описується системою диференціальних рівнянь з частинними похідними для електронної густини, густини інжекттованих домішок, електронної температури та тороїдального електричного поля. При проведенні обчислювальних експериментів визначаються ефективні параметри часу вприскування пелети та її розмірів (на основі початкової функції розподілу концентрації), при яких відбувається швидке гасіння розряду, що характеризується зменшенням електронної температури та концентрації іонів біля стінок робочої камери.

Для ранжирування різних експериментів із різними значеннями вектора параметрів експерименту запропоновано функціонал якості у вигляді:

$$J = \alpha \int_0^{t_m} [n(t=0, R) - n(t, r)] dt \int_a^b r dr + \beta t_m, \quad (5)$$

де t_m – значення моменту часу, коли підінтегральний вираз в (5) досягає першого мінімуму, $a = 0.2R$, $b = 0.8R$, R – малий радіус камери токамака, α , β – коефіцієнти.

Таким чином, для оптимального вибору параметрів віртуального експерименту по пелет-інжекції для гасіння небезпечного розряду ТЯ-плазми в токамаці в дисертації вперше запропоновано функціонал оптимального керування плануванням експерименту. При цьому оптимальне планування розуміється як вприскування порції речовини з підвищеним зарядом ядра (вприскування в плазму так званої пелети такої речовини) в оптимальний час та місце. Було промодельовано два режими пелет-інжекції і визначено простори допустимих значень параметрів вприскування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання створення нових інформаційних технологій інтелектуального управління складним науковим віртуальним та натурним експериментом у конкретних багатофазних середовищах.

Результати дисертаційного дослідження є підставою для таких висновків:

1. За результатами аналізу літератури виявлено актуальність розробки концепції створення комплексних інформаційних технологій для управління експериментами в багатофазних середовищах, а також реалізацію цієї концепції для експериментів з БФС для конкретних предметних галузей.

2. Розроблено науково-методологічні основи створення ІТ автоматизації систем наукових досліджень багатофазних середовищ (БФС) на базі їх класифікації та загального функціоналу, що враховує базові параметри процесу оптимального керування заданим експериментом з БФС.

3. Розроблено компоненти інформаційних технологій (математичне, інформаційне, алгоритмічне, програмне забезпечення) систем моделювання процесів БФС (керування кристалізацією металевого розплаву, оптимального керування безпілотним літальним апаратом, гасіння небезпечного розряду в токамаці) на підґрунті створених науково-методологічних основ.

4. Розроблено інфологічну, математичну модель та програмне забезпечення автоматизованого диференційного термоаналізу металевих сплавів, що відрізняється від існуючих відсутністю еталонного зразку сплаву і використовує визначення металевих фаз на основі кластеризації у багатовимірному просторі ознак.

5. Вперше розроблено метод багатоточкового термоаналізу, експериментальну установку та відповідне програмне забезпечення для запису і аналізу експериментальних даних на основі методу міжканальних кореляцій.

6. Розроблено інформаційну технологію проведення гідроаеродинамічних експериментів з метою проектування корпусів роботів, які функціонують в багатофазному середовищі. Розроблене програмне забезпечення використовує обчислювальні можливості системи скінченно-елементного моделювання ANSYS/FLOTRAN для розв'язку задачі обтікання профілів.

7. Розроблено автоматизовану систему проведення віртуальних експериментів з термоядерною плазмою на основі імітаційного моделювання процесу пелет-інжекції, що відрізняється застосуванням кубічних сплайнів для апроксимації розв'язків систем ДРЧП.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Писаренко В.Г. Приближенное решение дифференциальных уравнений в частных производных с помощью кубических сплайнов с приложением к моделированию термоядерной плазмы / В.Г. Писаренко, И.А. Варава // Некоторые информационные модели управляемой термоядерной плазмы: монография / [В.Г. Писаренко, И.А. Варава]. – М.: Астра, 2005. – С. 65 – 70.
2. Писаренко В.Г. Некоторые базовые предвестники крупных аварий на угольных шахтах / В.Г. Писаренко, Ф.Н. Горин, Ю.В. Писаренко, А.С. Крячок, И.А. Варава, А.С. Коваль // Информационные технологии искусственного интеллекта для шахтной безопасности: монография / [В.Г. Писаренко, Ф.Н. Горин, Ю.В. Писаренко, А.С. Крячок, И.А. Варава, А.С. Коваль]. – Киев: НТУУ "КПИ" ИПИ ИПК "Политехника", 2013. – С. 17 – 26.

3. Писаренко В.Г. Робототехнические системы с интеллектуальными сенсорами и многопроцессорными имитаторами динамического состояния объекта управления / В.Г. Писаренко, И.А. Варава, Ю.В. Писаренко, В.И. Семенова // Искусственный интеллект. – 2004. – № 3. – С. 752–758.
4. Писаренко В.Г. Технологии проектирования проблемно-ориентированного интеллектуального робота с системой идентификации текущего состояния среды и адаптивным управлением / В.Г. Писаренко, И.А. Варава, Ю.В. Писаренко, В.И. Семенова // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2004. – № 3. – С. 117 – 123.
5. Писаренко В.Г. Распознавание образов интеллектуализированным транспортным роботом: задачи навигации и задачи идентификации движущегося объекта / В.Г. Писаренко, И.А. Варава, Ю.В. Писаренко, В.И. Прокопчук, Ю.Я. Панасюк // Искусственный интеллект. – 2005. – № 3. – С. 691 – 696.
6. Писаренко В.Г. Информационная модель эффективности долговременной памяти живой нейросети с учетом новых данных молекулярной биофизики / В.Г. Писаренко, И.А. Писаренко, И.А. Варава // Искусственный интеллект. – 2006. – № 3. – С. 21 – 24.
7. Писаренко В.Г. Информационные модели теплофизических процессов при измерениях временной динамики температуры кристаллизирующегося расплава металла / В.Г. Писаренко, И.А. Варава // Комп'ютерні засоби, мережі та системи.– 2007. – № 6. – С. 67 – 74.
8. Варава И.А. Методы распознавания образов и выделение кластеров при обработке файлов временной динамики температуры расплава кристаллизирующегося металла / И.А. Варава // Искусственный интеллект. – 2009. – № 1. – С. 19 – 26.
9. Кривонос Ю.Г. Моделирование интеллектуального управления кристаллизацией металлических расплавов / Ю.Г. Кривонос, В.Г. Писаренко, И.А. Варава // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 234 – 241.
10. Варава И. А. Элементы САПР беспилотных летательных аппаратов на базе CFD-пакетов / И. А. Варава // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2010. – № 9. – С. 140 – 146.
11. Варава И.А. Организация сложных вычислений в области межотраслевых исследований / И.А. Варава // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2013. – № 12. – С. 34 – 38.
12. Писаренко В.Г. Мобильный автономный робот с интеллектуальным видеосенсором, выполняющий в реальном времени программу «найти ориентир и установить датчик» / В.Г. Писаренко, А.Г. Голубничий, Ю.Я. Панасюк, Ю.В. Писаренко, И.А. Варава, В.И. Прокопчук // Интеллектуальное управление в сложных системах. Темат. сборник научных статей. под ред. д.ф.-м.н. Писаренко В. Г. – М.: Астра, 2006. – С. 36 – 37.

13. Боюн В.П. Актуальные задачи технологии распознавания образов при мультиспектральном дистанционном зондировании в экологии и экстремальных ситуациях / В.П. Боюн, И.А. Варавя, А.А. Мерзвинский, Ю.В. Писаренко, В.Г. Писаренко // Матеріали конференції «Microwave and optical information technologies – 2004». Proc. of the I Intern. Scientific Conf. Kiyv. – 2004. – С. 9 – 13.
14. Писаренко В.Г. Некоторые интеллектуальные технологии исследовательского проектирования адаптивно управляемых сложных систем / В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко, И.А. Варавя, В.И. Семенова, Л.С. Харченко // Матеріали XI Міжнародної конференції по автоматичному управлінню «Автоматика – 2004» (м. Київ, 27–30 вересня 2004 р.). – Киев. – Т. 4. – 2004. – С. 85 – 86.
15. V. Pisarenko Information models for robotics system with intellectual sensor and self-organization / V. Pisarenko, I. Varava, J. Pisarenko [and others] // The XI-th International Conference «Knowledge-Dialogue-Solution» (KDS–2005), Varna, 20–30 June, 2005. – Sofia: FOI – Commerce. – 2005. – Vol. 2. – P. 427 – 432.
16. Варавя И.А. Интеллектуальная навигация с распознаванием нечетких образов для мобильных роботов в экстремальных средах / И.А. Варавя, Ю.Я. Панасюк, В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко, В.И. Семенова // Proceeding of 8-th International Conference on Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2005) (18-20 May'2005, Minsk, Belarus). – Minsk. – 2005. – P. 477 – 481.
17. Кривонос Ю.Г. Математическая модель и вычислительные алгоритмы неравновесной динамики релаксации импульсного управления в кристаллизирующемся расплаве металла / Ю.Г. Кривонос, В.Г. Писаренко, И.А. Варавя // Праці міжнародного симпозіуму «Питання оптимізації обчислень (ПОО – XXXV)» (Україна, Крим, Велика Ялта, смт. Кацивелі, 24–29 вересня 2009 р.) / Нац. акад. наук України, Ін-т кібернетики імені В.М. Глушкова. – К.: Ін-т кібернетики. – 2009. – С. 376 – 381.
18. Писаренко В.Г. Імітаційне моделювання і оптимізація режимів гасіння небезпечного розряду в термоядерній плазмі токамака / В.Г. Писаренко, І.А. Варавя // «Питання оптимізації обчислень (ПОО – XXXVII)» Міжнародна молодіжна математична школа (Крим Велика Ялта, смт. Кацивелі 22–29 вересня 2011 р.) / Нац. акад. наук України, Ін-т кібернетики імені В.М. Глушкова. – К.: Ін-т кібернетики. – 2011. – С. 150 – 151.
19. Кривонос Ю.Г., Писаренко В.Г., Варавя И.А., Писаренко Ю.В. Концепция интеллектуального управления на нано-уровне процессами кристаллизации металлического расплава // Міжнародна математична конференція «Боголюбівські читання DIF-2013. Диференціальні рівняння, теорія функцій та їх застосування» з нагоди 75-річчя з дня народження академіка А.М. Самойленка 23 – 30 червня 2013 р. Севастополь, Україна. – Тези доповідей. – С. 123 – 124.

20. Писаренко В.Г., Варава І.А., Писаренко Ю.В. Оптимизация интеллектуального управления на нано-уровне процессами кристаллизации металлического расплава с учетом релаксации поступательного и вращательного движения атомов // Міжнародна математична конференція «Боголюбівські читання DIF-2013. Диференціальні рівняння, теорія функцій та їх застосування» з нагоди 75-річчя з дня народження академіка А.М. Самойленко 23 - 30 червня 2013 р. Севастополь. Україна. – Тези доповідей. – С. 158 – 159.
21. А. с. Комп'ютерна програма «TermoExp» / І.А. Варава, К.А. Смульська. – № 17697 від 21.08.2006 р.
22. А. с. Создание экспериментального стенда для многоканального термоанализа процессов тепломассопереноса в жидких средах и проведение на нем эксперимента «выявление межканальных корреляций» / Ю.Г. Кривонос, В.Г. Писаренко, И.А. Варава. – № 31562 від 23.12.2009 р.
23. А. с. Концепция структуры интеллектуального управления процессом кристаллизации металлического расплава / Ю.Г. Кривонос, В.Г. Писаренко, И.А. Варава. – № 31579 від 28.12.2009.

АНОТАЦІЯ

Варава І.А. Інформаційні технології управління складним науковим експериментом в багатофазному середовищі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ, 2016.

У дисертаційному дослідженні удосконалено науково-методичні й практичні підходи до формування й реалізації інформаційних технологій управління складним науковим експериментом в багатофазному середовищі. Запропоновано комплексний підхід щодо врахування багатофазності середовища при постановці експерименту, який полягає в аналізі ключових сутностей науково-технічного експерименту.

Розроблено інформаційну технологію підтримки проведення диференційного термічного аналізу металевих розплавів, що відрізняється відсутністю еталонних зразків і використовує в попередній обробці термокривих згладжування сплайнами нейромережу для автоматизованого розпізнавання фаз та регресійну модель для прогнозування фізико-механічних властивостей сплавів. Поставлено і вирішено обернено-просторову задачу теплопровідності, яка відрізняється розрахунком наступного кроку за просторовою координатою завдяки використанню симетричної схеми Кранка – Ніколсона.

Розроблено технологію використання обчислювальних модулів CFD-пакетів для проведення віртуальних експериментів по вивченню взаємодії мобільних роботів із зовнішнім середовищем. Запропоновано функціонали якості віртуального експерименту по гасінню небезпечного розряду в робочій камері токамаку, які враховують розподіл концентрацій плазмових фаз.

Ключові слова: багатофазне середовище, управління експериментом, функціонал якості, віртуальне моделювання.

АННОТАЦІЯ

Варава И. А. Информационные технологии управления сложным научным экспериментом в многофазной среде. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, 2016.

В диссертации усовершенствованы научно-методические и практические подходы к формированию и реализации информационных технологий управления сложным научным экспериментом в многофазной среде. Предложен комплексный подход к учету многофазности среды при постановке эксперимента, который состоит в анализе ключевых сущностей научно-технического эксперимента.

Разработана информационная технология поддержки проведения дифференциального термического анализа металлических расплавов, отличающаяся отсутствием эталонных образцов и использующая в предварительной обработке термокривых сглаживание сплайнами и нейросеть для автоматизированного распознавания фаз. На основе количественных характеристик фаз методом регрессионного анализа прогнозируются физико-механические свойства сплавов. Обучающая выборка состоит из набора точек в многомерном пространстве, которое построено на основании геометрической интерпретации характерных точек кривых дифференциального термического анализа. Поставлена и решена обратнo-пространственная задача теплопроводности, которая отличается расчетом очередного шага по пространственной координате с использованием симметричной схемы Кранка – Николсона.

Разработана технология использования вычислительных модулей CFD-пакетов в составе прикладного программного обеспечения для проведения виртуальных экспериментов по изучению взаимодействия мобильных роботов с внешней средой. На вход CFD-модуля поступает сформированная инженерная задача в формате APDL-скрипта.

Предложены функционалы качества виртуального эксперимента по тушению опасного разряда в рабочей камере токамака, которые учитывают распределение концентраций плазменных фаз. С учетом этих функционалов получены подпространства параметров управления процессом пеллет-инжекции, которые могут быть технологически осуществимы в промышленных термоядерных установках.

Ключевые слова: многофазная среда, управление экспериментом, функционал качества, виртуальное моделирование.

ABSTRACT

Varava I. A. Information technologies of complex scientific experiment control in multiphase environment. – Manuscript.

Dissertation for Candidate of Technical Sciences degree by speciality 05.13.06 – Information technologies. – V.M. Glushkov Institute of Cybernetic of The National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2016.

In the dissertation were improved the scientific methods and practical approaches to the formation and implementation of information technology for management of complex scientific experiment in a multiphase environment. The complex approach to accounting of multiphase environment during the set up an experiment is being proposed, which consists of the key entities analysis of scientific and technical experiments.

The information technology for support of differential thermal analysis of metal melts was developed. It is characterized by the absence of reference samples and used in pre-treatment of thermal curves the spline-smoothing by neural network for computer-aided detection phases. The back-dimensional heat conduction problem was posed and solved, which is different in calculation of the next step by the space coordinate using of the Crank – Nicholson symmetric scheme.

The technology of computing modules CFD-packages, using for virtual experiments on studying the interaction of mobile robots with the environment, was developed.

The quality functional of virtual experiment to extinguish a dangerous level in the chamber of a tokamak, which takes into account the distribution of plasma concentrations phases, were suggested.

Key words: multiphase environment, management of experiment, quality functional, virtual simulation.

Підп. до друку 19.05.2016. Формат 60x90/16. Папір офс.
Цифровий друк. Ум. друк. арк. 1,31. Ум. фарбо-відб. 1,05.
Обл.-вид. арк. 1,0. Зам.40. Тираж 100 примірників.

Редакційно-видавничий відділ
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України
03680, МСП, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 40.