

# КОМП'ЮТЕРНІ ЗАСОБИ, МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ

I. Varava

## **THE SCIENTIFIC EXPERIMENT CONTROL IN MULTIPHASE ENVIRONMENT**

*There were improved the scientific methods approaches to the formation of information technology for management of complex scientific experiment in a multiphase environment.*

*Key words: intellectual support system, experiment, multiphase environment.*

*Усовершенствованы научно-методические подходы к формированию информационных технологий управления сложным научным экспериментом в многофазной среде.*

*Ключевые слова: интеллектуальная система поддержки, эксперимент, многофазная среда.*

*Удосконалено науково-методичні підходи до формування інформаційних технологій керування складним науковим експериментом в багатофазному середовищі.*

*Ключові слова: інтелектуальна система підтримки, експеримент, багатофазне середовище.*

© I.A. Varava, 2016

УДК 004.942

I.A. VARAVA

## **КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМ НАУКОВО- ТЕХНІЧНИМ ЕКСПЕРИМЕНТОМ У БАГАТОФАЗНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

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

Мета досліджень роботи – удосконалення науково-методичних і практичних підходів до розробки інформаційних технологій керування складними науковими експериментами у багатофазних середовищах.

На основі комплексного аналізу наукових літературних джерел досліджено й узагальнено еволюцію інформаційних технологій у наукових дослідженнях.

На цій основі в роботі конкретизовано й поглиблено теоретико-методичний підхід до створення систем керування 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 керування 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 керування 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 керування науковим експериментом реагує на зміну умов експерименту, отриманих шляхом експрес-обробки та аналізу даних.

Поставлено задачі дослідження:

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

2) розробити науково-методичний підхід керуванням 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.

Для задач цілеспрямованого керування складним науковим експериментом розроблено функціонали якості (ФЯ), які є логічною основою для використання як критерії оптимального керування складними науковими експериментами з різними багатофазними середовищами.

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

В роботі розвивається науково-методичний підхід до постановки складного науково-технічного експерименту в багатофазному середовищі, який полягає у наступному.

Керування процесами в багатофазному середовищі розглядається на трьох рівнях ієрархії, а саме:

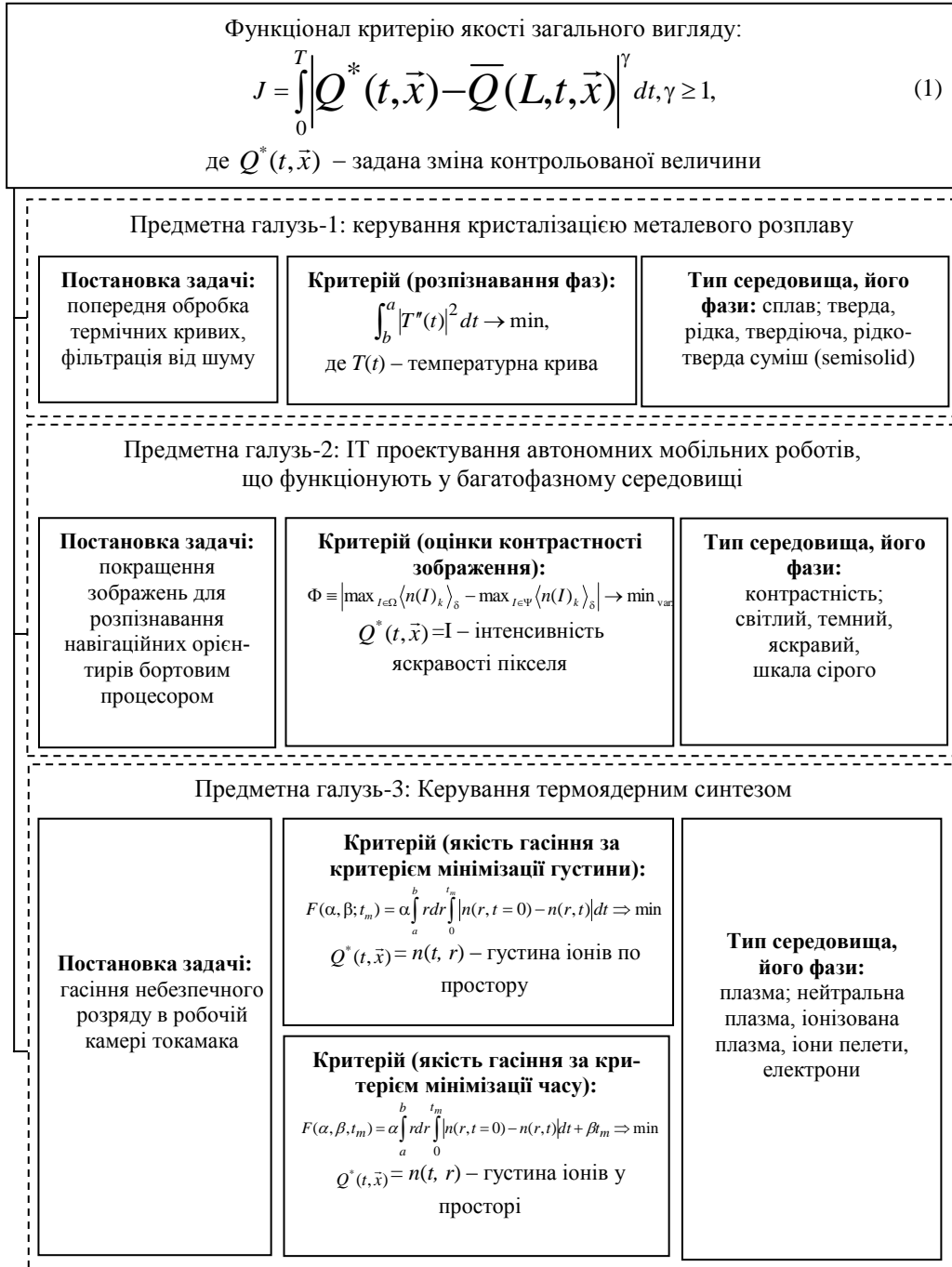


РИСУНОК. Структура дослідження на основі функціоналу критерію якості керування складним науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі

- 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 керування 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 роботі 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.

В подальших дослідженнях на основі розробленого 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 (предметна галузь-1);

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 (предметна галузь-2);

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 (предметна галузь-2);

4) створення програмного забезпечення (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 неста-

ціонарному обтіканні подовженого тіла, яке частково засипане донним ґрунтом на поверхні морського дна (предметна галузь-2);

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 (предметна галузь-3).

Для предметної галузі-1 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 рисунку, 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. Для цього проаналізовано базу даних термокривих по алюмінієвих сплавах, яка накопичувалась декілька останніх десятиліть співробітниками ФТІМС НАН України.

Для предметної галузі-2 при застосуванні науково-методичного підходу щодо керування складним науково-технічним експериментом у багатофазному середовищі для задач керування мобільним роботом (типу БПЛА або підводного роботу) 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 [1].

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. **Критерій (оцінки контрастності зображення):**

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

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

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. В роботі пропонується технологія використання ПЗ двох типів CAD та CFD за допомогою проміжного ПЗ з метою проведення експериментів з моделювання поведінки автономних пристроїв у багатофазовому середовищі.

Для предметної галузі-3 приводиться постановка обчислювального експерименту для дослідження керування 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 інжектіваних 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 [2].

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

$$J = \alpha \int_0^{t_m} [n(t=0, R) - n(t, r)] dt \int_a^b r dr + \beta t_m, \quad (4)$$

де  $t_m$  – значення моменту часу, коли підінтегральний вираз досягає першого мінімуму,  $a = 0.2R$ ,  $b = 0.8R$ ,  $R$  – малий радіус камери токамака,  $\alpha$ ,  $\beta$  – коефіцієнти. 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.

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.

**Висновки.** Вирішено актуальне науково-технічне завдання створення нових інформаційних технологій інтелектуального керування складним науковим віртуальним та натурним експериментом у конкретних багатофазних середовищах. Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у тому, що її теоретичні та методичні положення доведено до рівня конкретних інформаційних технологій керування складним науково-технічним експериментом і дозволяють оптимізувати відповідні процеси в багатофазних середовищах. Розроблені автором науково-методичні підходи та рекомендації використано при розробці ПЗ «ТермоЕхр» [3]. Результати дослідження використовуються у діяльності компанії «Robosoft» (м. Дніпро), у наукових дослідженнях Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України (ФТІМС НАНУ, м. Київ) та на підприємствах металургійного комплексу.

1. Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В., Варави І.А., Панасюк Ю.Я., Семенова В.И. Интеллектуальная навигация с распознаванием нечетких образов для мобильных роботов в экстремальных средах. *Proc. of 8-th Intern. Conf. on Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2005)* 18-20 May 2005, Belarus. □Minsk. 2005. □P. 477–481.
2. Писаренко В.Г., Варави І.А. Некоторые информационные модели управляемой термоядерной плазмы: монография. М.: Астра, 2005. С. 65–70.
3. Варави І.А., Смольська К.А. А. с. на комп'ютерну програму «ТермоЕхр». № 17697 від 21.08.2006.

Одержано 27.10.2016