

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ**

ЯРМІЛКО АНДРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

УДК 681.518: 004.932: 004.896

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ
ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИМИ ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ
ЗА ДАНИМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ**

05.13.06 – Інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Литвинов Віталій Васильович,
Чернігівський національний технологічний
університет Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри програмної інженерії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник
Стрельников Валерій Павлович,
Інститут проблем математичних машин і систем
НАН України,
завідувач відділу теорії надійності та ефективності
засобів обчислювальної техніки

кандидат технічних наук
Артамонов Євген Борисович,
Національний авіаційний університет,
доцент кафедри комп'ютеризованих систем
управління

Захист відбудеться “25” січня 2016 р. о 14.00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.204.01 в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: м. Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 42.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 42.

Автореферат розісланий “25” грудня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В. І. Ходак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні виробництва, базовані на високотемпературних фізико-технічних методах обробки, характеризуються складністю процесів, їхньою багатofакторністю та високими вимогами до параметрів якості. Одним з провідних напрямків підвищення рівня ефективності виробництва на сучасному етапі технічної цивілізації є інтелектуалізація виробничих систем. Концепції, пов'язані з впровадженням на всіх етапах життєвого циклу системи інформаційних технологій, знайшли відображення у розробці теоретичних та практичних рішень у галузі гнучких виробничих систем (ГВС) та комп'ютеризованих інтегрованих виробництв (КІВ), сприяли виникненню поняття інтелектуальної виробничої системи (ІВС). Консолідацію зусиль провідних промислових держав задля спільних досліджень та розробки науково-практичних проектів за всіма аспектами автоматизації, інтеграції та інтелектуалізації виробництва репрезентує міжнародна програма «Інтелектуальні виробничі системи» (Intelligent Manufacturing Systems – IMS). Концептуальні засади цієї програми передбачають збирання та обробку для забезпечення функціонування інтелектуальних систем управління різноманітних видів інформації з усіх можливих джерел, як внутрішніх, так і зовнішніх. Важливим є виконання зазначених операцій в реальному часі, особливо для виявлення небезпечних ситуацій. Передумовою реалізації даних підходів є зростання можливостей сучасних інформаційних технологій. З огляду наведених обставин, у процесі інтелектуального управління знаходить все більше використання різноманітна візуальна інформація, отримана за допомогою систем комп'ютерного зору (КЗ).

Поширенню використання в управлінні високотемпературними виробничими процесами візуальної інформації та необхідних для її отримання систем КЗ сприяє можливість реалізувати оперативний і безконтактний спосіб отримання діагностичних даних у широкому діапазоні сигналів. Їхнє використання для контролю технологічного процесу, стану виробничого обладнання робить можливим підвищення загальносистемних показників обладнання та оптимізацію виробничої програми. Впровадження систем КЗ потребує отримання ефективної реалізації апаратних та програмних компонентів, здатних забезпечити стійке функціонування в реальному масштабі часу за умов наявності завад різного походження. Вирішення зазначених завдань пов'язується з широким застосуванням в інформаційних технологіях керування виробничими процесами моделей різної структури та призначення. Питанню застосування моделей на сучасному етапі розвитку теорії управління приділяється величезна увага. Різні аспекти даної проблеми розглядаються, зокрема, у працях В. М. Глушкова, О. Г. Івахненка, Т. П. Мар'яновича, А. О. Морозова, В. І. Скуріхіна, Н. П. Бусленка, В. В. Литвинова, В. М. Томашевського, В. В. Казимира. Дж. Траксела, Р. Беллмана, Я. З. Ципкіна та інших. Вагомий внесок у розвиток технологій візуалізації внесли Р. Гонсалес, Р. Вудс, Д. Форсайт, Ж. Понс, М. І. Шлезінгер, Р. А. Воробель та інші вчені, що створює передумови для їхнього впровадження в управління виробничими процесами. Як показує аналіз публікацій, останнім часом у високотехнологічних виробництвах як засоби, що забезпечують зворотний зв'язок, отримали розвиток спеціалізовані системи КЗ, призначені для визначення просторових, спектральних та

енергетичних параметрів. Однак існуючі рішення не забезпечують повноти використання інформаційного потенціалу відеосигналу та його інтерпретації в контексті управління всіма етапами життєвого циклу обладнання та виробів. Тому створення на основі прогресивних інформаційних технологій і впровадження у виробництво нових методів забезпечення гнучкого управління виробничими системами на тактичному та стратегічному рівнях за рахунок підвищення інтелектуальності обладнання з використанням візуального каналу спостереження, а також методів обробки візуальних сигналів для управління та діагностики, є одним з актуальних завдань підвищення ефективності високотехнологічних виробничих систем та забезпечення якості продукції.

Разом з тим, використання методів візуалізації в управлінні далеке від вичерпання їхнього потенціалу внаслідок невирішеності ряду теоретичних та практичних завдань. Серед питань, що потребують вирішення і на які спрямована дисертація – розвиток методів інтеграції візуальної інформації у системах керування та прийняття рішень, розробка методів виділення інформаційних ознак, забезпечення рівня параметрів інформаційних процесів візуалізації та управління на рівні вимог керування сучасними виробничими системами.

Таким чином, тема дисертації, спрямована на вирішення задач розробки методів і технологій отримання за даними відеоспостереження технологічно значимих інформаційних ознак високотемпературних виробничих процесів та їхньої інтерпретації з метою підвищення ефективності управління виробничими системами зі складною структурою та динамікою, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України та Черкаському національному університеті імені Богдана Хмельницького згідно з планами науково-дослідних робіт у рамках тем «Використання методів візуалізації в управлінні та діагностиці», державний реєстраційний номер 0113U001695, та «Розробка методики тривимірного цифрового моделювання гірських масивів закритих шахт на основі інтеграції даних геомеханічних і геолого-географічних досліджень», державний реєстраційний номер 0111U009083С.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка інформаційної технології управління високотемпературними виробничими процесами гнучкого виробничого модуля з інтелектуальними функціями за даними відеоспостереження перебігу технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети сформовано та вирішено такі задачі:

– дослідження впливу факторів формування видових сцен високотемпературних процесів, визначення способів їхньої інтерпретації при виділенні інформаційних ознак;

– розробка методу оцінки параметрів зони обробки за растровим представленням результатів відеоспостереження, отримання ефективної реалізації програмних компонентів системи технічного зору, здатних забезпечити стійке функціонування в реальному масштабі часу за умов наявності завад різного походження;

– розробка ефективного методу управління виробничою системою високотемпературної обробки за даними візуалізації;

– формування вимог до засобів забезпечення модельно-орієнтованого управління за візуальною інформацією у вбудованих системах реального часу, розробка методики їхньої оцінки;

– реалізація у вигляді інформаційної технології та експериментальне дослідження розроблених методів.

Об'єкт дослідження – інформаційні технології управління виробничими процесами.

Предмет дослідження – інформаційні технології управління високотемпературними виробничими процесами за даними візуалізації.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач і отримання основних результатів використані: методи аналітичного та імітаційного моделювання, теорії надійності, теорії ігор, методи математичної обробки цифрових зображень, які базуються на теорії фільтрації та теорії розпізнавання образів, теорії ймовірностей та математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше запропоновано метод формування поведінкової стратегії інтелектуального технологічного модуля за даними відеоспостереження, що передбачає адаптацію виробничої системи за допомогою модифікації моделі управління при зміні прогнозу її функціонування на основі екстремального принципу управління цільовим параметром, який, на відміну від існуючих, забезпечує вироблення стратегії експлуатації інтелектуального модуля у виробничому середовищі на основі економічних критеріїв за результатами прогнозування та оптимізації.

2. Вперше розроблено метод оцінки динамічних характеристик середовища функціонування системи інтелектуального управління на базі вбудованих систем реального часу зі зміною моделей функціонування, який відрізняється комплексністю врахування їхніх характеристик, що дозволяє отримати оцінку ефективності реалізації системи інтелектуального управління на конкретній програмно-апаратній платформі.

3. Набули подальшого розвитку методи візуалізації на основі спектральної пірометрії за рахунок урахування у моделі візуалізації температурних та технологічних умов протікання високотемпературних фізико-технічних процесів, що дозволило знизити обчислювальну складність задачі обрахунку поля температур за кольоровим растровим зображенням зони обробки.

4. Набули подальшого розвитку методи візуалізації в частині модельного представлення технологічної області процесу зварювання та використання роздільної поетапної обробки відеоданих, отриманих за окремими спектральними каналами, що дозволило знизити розмірність задачі виявлення та локалізації у зоні спостереження артефактів із заданими показниками температури, забезпечити стиснення первинних растрових даних відеоспостереження кольорових видових сцен високотемпературних процесів обробки.

5. Отримало подальший розвиток імітаційне моделювання виробничих систем, що дозволило отримати імітаційні моделі виробничих модулів високотемпературної обробки та динамічні моделі реального часу візуальних ефектів технологічних процесів зварювання.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена інформаційна технологія дозволяє вдосконалити інформаційні процеси і моделі управління та візуалізації, що приводить до підвищення експлуатаційних характеристик технологічного устаткування високотемпературної обробки, особливо складного малосерійного та унікального, при нестабільній номенклатурі виробництва, яке проявляється у зменшенні кількості бракованих виробів, локалізації та спеціалізації процедур контролю, підвищенні коефіцієнтів технічного використання і оперативної готовності виробничого обладнання за рахунок оптимізації виробничої програми та обслуговуючих операцій. Розроблені методи, моделі й програмне забезпечення дають можливість виділяти за зображеннями видових сцен високотемпературних процесів широке коло візуальних ознак для задач управління та діагностики, прогнозування станів виробничого обладнання. Методика моделювання та дослідження ефективності виробничого обладнання також придатна для оцінки прототипів при розробці модифікацій обладнання з характеристиками, оптимальними для ефективної експлуатації на виробництвах з конкретними технологічними циклами, та для оперативної техніко-економічної експертизи пакетів технологічних завдань. Розроблені засоби оцінки ефективності середовищ функціонування вбудованих систем керування реального часу можуть бути використані як засіб вибору програмної платформи для створення інформаційних систем із заданими динамічними та ресурсними властивостями. Впровадження результатів дослідження виконано у ТОВ «Інекс Системз» та ТОВ «Інфра-Центр» (м. Черкаси) (довідки від 30.07.2014 та 02.04.2015). Теоретичні та практичні результати дисертації використовуються у навчальному процесі Черкаського національного університету ім. Б.Хмельницького при викладанні дисциплін «Сучасна теорія управління», «Апаратно-програмні засоби збору та обробки екоінформації». Програмне забезпечення щодо візуалізації та моделювання процесів управління виробничими процесами використовується у курсовому та дипломному проектуванні, науковій роботі магістрантів факультету обчислювальної техніки, інтелектуальних та управляючих систем (акт від 22.09.2014). У Черкаському державному технологічному університеті результати дослідження використано у співпраці з кафедрою технології та обладнання машинобудівних виробництв у напрямку вдосконалення технології електронно-променевої обробки матеріалів та у консультуванні магістрантів за спеціальністю «Обробка металів за спецтехнологіями» (довідка від 15.04.2015).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертації отримані автором самостійно і опубліковані в особисто підготовлених працях [1, 5, 8, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 20, 21]. У наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: [2] – аналіз інформаційних джерел, розробка моделей, постановка експериментів та інтерпретація отриманих результатів; [3] – формулювання мети та постановка задачі, розробка імітаційних моделей виробничих систем, інтерпретація результатів дослідження; [4] – формулювання мети, постановки задачі та інтерпретація результатів дослідження; [6, 7, 9, 14] – формулювання мети, постановки задачі, визначення методів та інтерпретація результатів дослідження; [10] – формулювання постановки задачі; [16] – формулювання мети та постановки задачі, розробка методу управління та

імітаційних моделей виробничих систем, інтерпретація результатів дослідження; [19] – аналіз інформаційних джерел та формулювання гіпотези.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідались й обговорювались на засіданні секції №1 Вченої ради Інституту проблем математичних машин і систем НАН України «Технічні та програмні засоби інформатизації», на п'яти наукових семінарах, а також на таких наукових конференціях: Десятій міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2015» (м. Чернігів, 2015 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні та моделюючі технології. ІМТ-2015» (м. Черкаси, 2015 р.); Дев'ятій міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2014» (м. Київ-Жукин, 2014 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні та моделюючі технології. ІМТ-2014» (м. Черкаси, 2014 р.); Міжнародній науковій конференції з природничих, математичних і технічних наук NaMaTech-2013 (м. Будапешт, 2013 р.); Восьмій міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2013» (м. Чернігів-Жукин, 2013 р.); Сьомій міжнародній науково-практичній конференції з міжнародною участю «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2012» (м. Чернігів-Жукин, 2012 р.); Х міжнародній науково-технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних процесів» (м. Кременчук, 2011 р.); Шостій науково-практичній конференції з міжнародною участю «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2011» (м. Чернігів, 2011 р.); П'ятій науково-практичній конференції з міжнародною участю «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2010» (м. Київ, 2010 р.); Четвертій науково-практичній конференції з міжнародною участю «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС'2009» (м. Київ, 2009 р.); Другій міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні та моделюючі технології. ІМТ-2009» (м. Черкаси, 2009 р.); Першій міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні та моделюючі технології. ІМТ-2008» (м. Черкаси, 2008 р.).

Публікації. Результати дисертації викладені у 21 науковій праці: 7 статей (з них 3 – одноосібних) опубліковано у спеціалізованих наукових виданнях і збірниках наукових праць згідно з переліком фахових видань України, 1 стаття – у зарубіжному науковому журналі, 13 публікацій – у збірниках і матеріалах наукових конференцій (1 стаття – у електронному вигляді).

Структура і обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 146 найменувань та 21 додатку. Загальний обсяг дисертації – 227 сторінок машинописного тексту, у тому числі 160 сторінок основного тексту, 30 рисунків і 6 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі представлена загальна характеристика роботи і обґрунтована актуальність теми, розкриті основні положення, що виносяться на захист. Сформульовані мета роботи і задачі дослідження, описано об'єкт досліджень,

викладено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів, окреслений зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Вказано на апробацію отриманих результатів, публікації за результатами досліджень.

У першому розділі наводиться стислий огляд сутності та класифікації виробничих процесів, завдань управління ними у контексті сучасних наукових концепцій. Представлено аналіз сучасного стану, проблематики та методології використання методів візуалізації у виробничих системах різного призначення і, зокрема – у системах та процесах високотемпературної обробки. Зазначено, що використання візуального каналу надходження даних є сучасною тенденцією в контексті загальної інтелектуалізації виробничих систем внаслідок зростання складності виробничих процесів та комплексності питань управління ними. Встановлено, що серед теоретичних та практичних питань, які потребують вирішення на шляху подальшого прогресу у впровадженні методів візуалізації в управлінні – розвиток методів інтеграції візуальної інформації у системах керування та прийняття рішень, розробка методів виділення інформативних ознак, забезпечення рівня параметрів інформаційних процесів візуалізації на рівні вимог керування сучасними виробничими системами.

У другому розділі розглянуто питання виділення інформативних ознак візуальної інформації та способів її інтерпретації при управлінні високотемпературними виробничими процесами на прикладі технологій зварювання та променевої обробки. Показано комплексність прояву візуальних ефектів, актуальність та принципову складність їхнього використання при автоматизації керування зазначеними процесами. Оглянуто особливості застосування методів візуалізації в діагностиці та управлінні високотемпературними процесами обробки, проаналізовано показники якості та параметри управління і діагностики ряду технологічних процесів, охарактеризовано візуальні ознаки якості обробки, запропоновано візуальні моделі області технологічної дії енергетичного потоку.

З урахуванням встановлених критеріїв та обмежень, запропоновано модель візуалізації виробничого процесу зварювання за кольоровим растровим зображенням технологічної зони, утвореним тепловим випромінюванням. При цьому виділення інформаційних ознак для синтезу керуючих та діагностичних рішень передбачає здійснення ряду перетворень такого змісту.

В загальному випадку вхідні дані відеоспостереження відповідають простору $V \subseteq m \cdot N^2$, де m – розмірність простору. Обмеження простору відеоданих видимим діапазоном дозволяє розглядати його як композицію підпросторів $R \subseteq V$, $G \subseteq V$ і $B \subseteq V$ за спектральними складовими сигналу відеосенсора. Зниження надлишковості відеоданих пропонується виконувати шляхом відображення простору V у простір температур T

$$f(RGB): V \rightarrow T, \quad (1)$$

де $f(RGB)$ – функція відображення кольорового растрового зображення в поле температур. При цьому для випадку перетворення візуальних даних більшості високотемпературних процесів фізико-технічної обробки прийнятним є

використання методів спектральної пірометрії та перехід до області Віна. Модель Віна за відомою інтенсивністю випромінювання на двох ділянках спектру, наприклад, зеленого та червоного каналу з довжиною хвилі λ_g та λ_r відповідно, дозволяє визначити температуру за формулою

$$T_c = \frac{C_2}{\Lambda \ln((I_g/I_r)(\lambda_g/\lambda_r)^5)}, \quad (2)$$

де Λ – величина еквівалентної довжини хвилі для вимірювання спектральної температури, яка вираховується за формулою $\Lambda = \lambda_g \cdot \lambda_r / (\lambda_g - \lambda_r)$, а C_2 – пірометрична стала. Однак обчислювальна складність даного виразу є високою. Тому при перетворенні кольорового растрового зображення видової сцени в поле температур запропоновано використовувати регресійну залежність

$$T_c = 370 + I'_r + 1,25 \cdot I'_g + 2,8 \cdot I'_b, \quad (3)$$

де I'_r , I'_g , I'_b – еквівалентні значення яскравості за червоним, зеленим та синім каналами відеокамери. Точність визначення температури за виразом (3) для процесів з температурами в діапазоні 600..1500 °C в середньому становить ± 15 °C, що дозволяє отримати за кольоровим растровим зображенням технологічної зони поле температур для подальшого виділення ознак виробничого процесу.

Отримані за виразом (3) значення температур дозволяють сформулювати простір $T \in N^2$, розміри якого визначаються роздільною здатністю $K \times M$ конкретного відеосенсора. В загальному випадку простір T містить декілька областей $\{P_z\}$, $z = 1..Z$, які можуть трактуватися як інформативні і описуються виділеними за деякими критеріями Q_z множинами точок температурного растру $t \in T | Q_z$. При цьому окремі області P_g і P_h , $\{g, h\} \in z$, можуть бути як незалежними ($P_g \cap P_h = \emptyset$), так і вкладеними ($P_g \subseteq P_h$). Такі області, в свою чергу, мають трансформуватися у множину ознак O_z , на основі яких формуються діагностичні чи управляючі рішення.

Нехай в області формування видової сцени наявна лише одна ізотропна область ознак технологічного процесу P , яка характеризується межами за її крайніми точками по вертикалі: $n = \min(y)$ і $m = \max(y)$, – та по горизонталі: $k = \min(x)$ і $l = \max(x)$, які відповідають лініям растру по координатам X та Y . Тоді за множиною точок обмежуючого контуру $D = \{d_f\}$ області P можуть бути визначені її геометрична форма та параметри положення. Подальше зниження надлишковості даних можливо досягнути шляхом параметризації множини D за наближеними моделями: прямокутна, кругла, еліпсоїдна, краплеподібна область і т.п. Обчислення зазначених параметрів проводиться шляхом статистичної обробки множини D з подальшою класифікацією за ознакою найбільшої подібності.

На початковому етапі параметризації доцільно визначити координати центра ваги $C = (X_c, Y_c)$ області P за точками контуру D , використавши для цього значення статичного моменту інерції, яке визначається роздільно по осям:

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{1}{S} \cdot \sum_{j=n}^m (x_j^- - x_j^+) \cdot (x_j^+ + (x_j^- - x_j^+)/2), \\ Y_c &= \frac{1}{S} \cdot \sum_{j=n}^m (x_j^- - x_j^+) \cdot y_j, \end{aligned} \quad (4)$$

де S – нормована площа, яка обчислюється за формулою $S = \sum_{j=n}^m (x_j^- - x_j^+)$, x_j^+ та x_j^- – координати точок входження у область та виходу із неї, які виділяються за усередненими температурами базису за критеріями швидкості зміни температури $\frac{\partial T}{\partial x} > \Delta T_{out}$ і $\frac{\partial T}{\partial x} < \Delta T_{in}$ відповідно. Іншим параметром, який визначається за значенням S , є приведений радіус R області P , який зручно використовувати для опису динаміки процесу фізико-технічних перетворень.

При використанні еліпсоподібних та краплеподібних моделей за множиною точок обмежуючого контуру D виділення уявної осі симетрії області P зручно проводити у полярній системі координат за зміною радіус-вектора ρ розгортки контуру, на якій кожній точці d_f ставиться у відповідність значення ρ_f :

$$\rho_f = \sqrt{(x_f - X_c)^2 + (y_f - Y_c)^2}. \quad (5)$$

Лінія осьової симетрії області P визначається положенням центра мас та точки глобального максимуму контуру A_0 , який знаходиться із множини радіус-векторів шляхом аналізу локальних максимумів розгортки A_w :

$$A_0 = Arg \max(A_w), \quad (6)$$

$$\text{де } A_w = \rho_f, \text{ якщо } \begin{cases} \rho_f - \rho_{f-1} > 0 \\ \rho_{f+1} - \rho_f < 0 \end{cases}.$$

Отже, наведена послідовність трансформації зображення видової сцени дозволяє отримати достатньо широку множину візуальних ознак високотемпературного виробничого процесу, серед яких ознаки форми, статистичні, точкові, контурні, сегментаційні та остовні ознаки.

У третьому розділі представлено інформаційну технологію, яка забезпечує використання візуальної інформації в управлінні високотемпературними виробничими процесами. Викладено концептуальні положення запропонованого методу управління, описано його алгоритм та використані моделі. Одним з ключових факторів ефективності отриманих рішень вважалася їхня придатність до

впровадження в актуальній прикладній області, що вимагало пошуку нової інтерпретації та інтеграції існуючих наукових методів.

Розглядаючи інформаційну технологію керування виробничим процесом за даними відеоспостереження як процес, що використовує сукупність засобів і методів збору, обробки і передачі даних для отримання інформації нової якості про стан об'єкта, процесу або явища, у її складі можна виділити ряд технологічних етапів, пов'язаних з проведенням фіксації за допомогою КЗ зображення в зоні протікання виробничого процесу, його трансформацією з метою виділення інформаційних ознак та формування на їхній основі керуючих впливів для досягнення бажаного стану керованого процесу. Оскільки виробничий процес характеризується певною динамікою та тривалістю, для забезпечення якості керування необхідно враховувати прогнозу інформацію щодо очікуваної зміни стану виробничої системи. При виробленні ж керуючих впливів варто розділити процеси прийняття рішень на тактичному та стратегічному рівнях. При цьому стратегічний рівень управління має забезпечити вибір оптимального у поточний момент часу експлуатаційного режиму, а тактичний – формування управління параметрами обробки на обраному режимі. Тобто, при формуванні керуючих впливів, крім власне управління конкретними параметрами процесу, має визначатися загальна спрямованість управління як вектор у просторі потенційно можливих рішень. З урахуванням перелічених обставин, інформаційна технологія управління за даними відеоспостереження (рис. 1) має включати етапи: відеоспостереження за виробничим процесом; отримання зображення у необхідному для подальшої обробки інформаційному форматі; виділення за зображенням (серією зображень) інформаційних ознак керованого процесу; формування з використанням отриманих інформаційних ознак опису поточного стану виробничої ситуації; формування прогнозу зміни стану виробничої системи; визначення стратегії функціонування виробничої системи як обґрунтованого способу реагування на її поточний стан з урахуванням прогнозу його зміни; формування модифікованого набору параметрів керування виробничим процесом відповідно до обраної стратегії; передачу сформованого набору параметрів на відпрацювання системою керування.

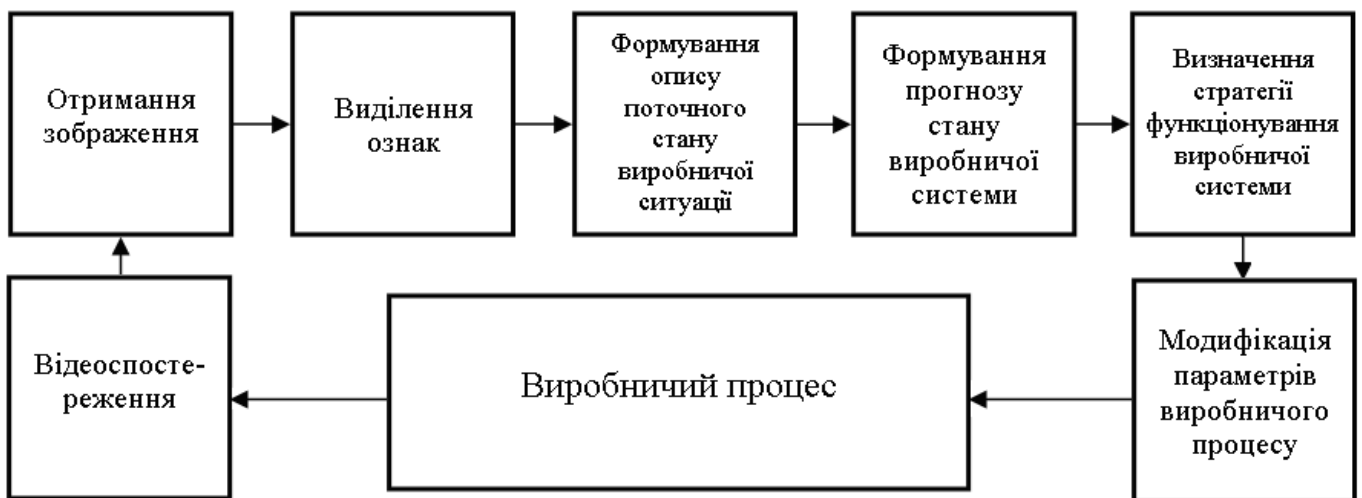


Рисунок 1 – Структура інформаційної технології управління виробничим процесом за даними відеоспостереження

У процесі відпрацювання отриманого набору параметрів керування виробничий процес формує новий візуальний образ свого стану, який на наступному кроці управління як первинна візуальна інформація використовуватиметься для отримання кінцевого інформаційного продукту даної інформаційної технології – актуального на поточному кроці керування процесом набору параметрів, які переводять виробничу систему у бажаний стан. В цілому запропонована структура інформаційної технології управління високотемпературними виробничими процесами реалізує принципи адаптивного управління.

Впровадження запропонованої інформаційної технології потребує створення системи інтелектуального управління виробничим процесом, яка реалізує зазначені принципи та особливості. Притаманна типовим зразкам сучасного технологічного обладнання високотемпературної обробки загальнотехнічна гнучкість забезпечує потенційну можливість їхнього автоматичного переналаштування у прийнятні терміни при зміні або модифікації мети функціонування у межах достатньо широкого набору цілей. Узагальнена структура відповідної системи управління представлена на рис. 2. Вона забезпечує формування за вхідним впливом $g(t)$ з класу можливих входів $G_v\{g(t)\}$ такого керуючого впливу $u(t)$, який переводить виробничу систему S у стан з показником ефективності (якості) функціонування $Q(v)$, який входить до множини допустимих для даної системи показників якості Ω , при наявності діагностованих за множиною візуальних ознак $\{O\}$, виділених шляхом обробки просторових даних відеоспостереження V розмірності m , показників стану виробничої системи v на поточному кроці керування k . Це свідчить про адаптивність системи S з параметрами стану $v \in N$ відносно класів N та Ω , оскільки для будь-якого з приналежних сімейству $\{G_v\}$ входів забезпечується відображення множини N в клас Ω , а саме: $Q(v): N \rightarrow \Omega$.

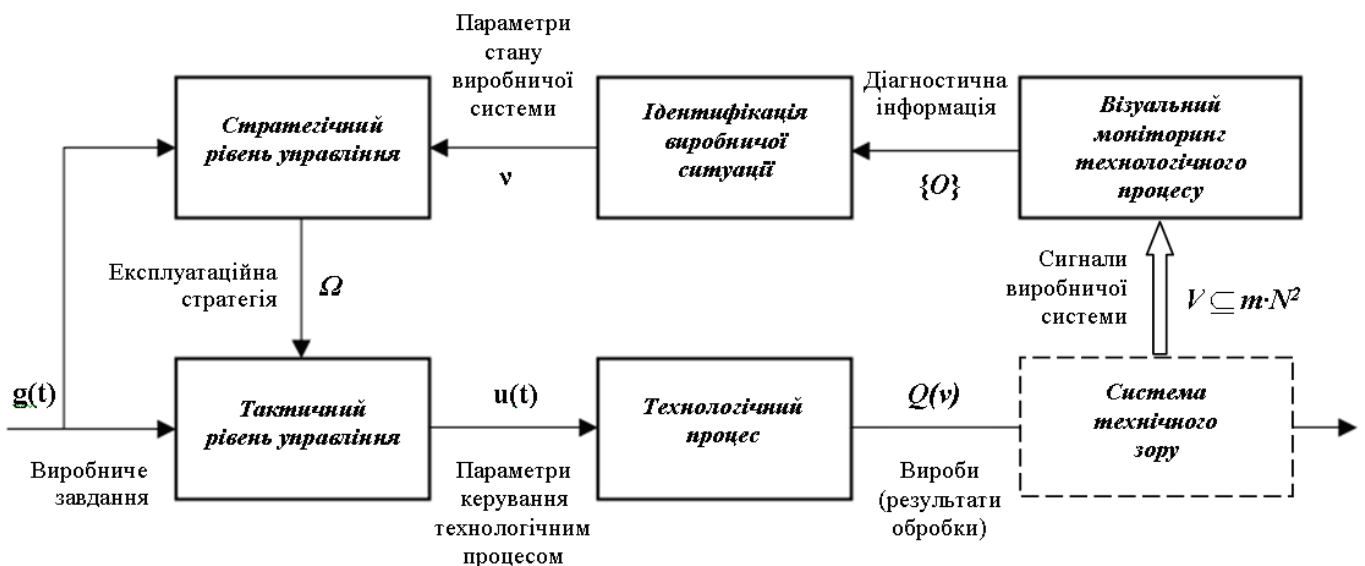


Рисунок 2 – Структура інтелектуальної системи управління технологічним процесом за даними відеоспостереження

Зважаючи на методи та практичні потреби управління виробництвом, поточну стратегію інтелектуального модуля у виробничому середовищі доцільно формувати

на основі економічних показників оцінки ефективності його експлуатації. Для прогнозування стану виробничої системи запропоновано проводити узагальнення моніторингових даних з використанням понятійного апарату теорії надійності, а для вибору оптимальної стратегії функціонування модуля використано математичний апарат теорії ігор. При цьому вибір конкретної стратегії здійснювався шляхом співставлення критеріальних оцінок, отриманих при застосуванні кількох критеріїв відбору: Уолда, надзвичайного оптимізму, Гурвіца, Лапласа та Севіджа. Тактичний рівень управління має використовувати конкретну модель керованого процесу відповідно до обраної стратегії, в основу мають бути покладені фізичні та інші функціональні залежності, які відображають сутність структурних перетворень за актуальною технологією високотемпературної обробки. Запропонована модель управління дозволяє більшою мірою використати потенціал гнучкості сучасних виробничих систем та підвищити їх експлуатаційну ефективність.

Четвертий розділ містить опис та результати експериментальних досліджень. Представлено дослідження ефективності алгоритму управління зі зміною стратегій, дослідження методів виділення інформативних ознак за растровими зображеннями технологічної зони, дослідження засобів забезпечення функціонування систем управління зі зміною стратегій у вбудованих системах реального часу.

Для дослідження ефективності розроблених методів та алгоритмів управління були розроблені моделі виробничих систем з варіацією властивостей, що відображає динамічні характеристики руху системи та параметри її навантаженості. Розглядалася тестова ситуація, пов'язана з використанням оброблювального технологічного модуля, який складається з випромінювача та системи позиціонування та підтримує виконання певної технологічної операції у трьох режимах функціонування, що характеризуються власними показниками продуктивності та ступеня зниження ресурсних показників обладнання. Розглядалася ситуація з тривалим неперервним циклом обробки, який одночасно був суттєво меншим від прогнозованого часу перебування обладнання у працездатному стані. Модель виробничого завдання передбачала отримання максимального прибутку від експлуатації модуля і полягала у виготовленні деталей одного виду на будь-якому з можливих експлуатаційних режимів. На початку продуктивного періоду модуля обирався оптимальний режим за стандартною методикою на підставі прогнозу стану виробничої системи. У ході експерименту імітувався процес моніторингу із заданою періодичністю поточного стану системи, який мав на меті виявлення відхилень від прогнозних показників. При перевищенні ними заданих порогових значень проводилося дослідження гіпотези про доцільність зміни стратегії експлуатації виробничого модуля з визначенням найбільш ефективного для конкретної стратегії режиму шляхом співставлення оцінок за п'ятьма критеріями відбору.

У проведеній серії експериментів визначався варіант використання модуля, який забезпечував максимальний економічний ефект як для випадку використання традиційних методів оптимізації (контрольний експеримент), так і за методом зі зміною стратегій. Попереднє дослідження з використанням статичної моделі залишкового ресурсу дозволило отримати підтвердження припущення про збільшення економічної ефективності виробничої системи при використанні нового методу керування відносно контрольного експерименту, в якому використовувався

оптимальний режим, визначений на початку продуктивного періоду виробничого модуля. Для більш повного виявлення потенціалу запропонованого методу було виконано серію імітаційних експериментів, у яких перехід на один з трьох альтернативних технологічних режимів супроводжувався зміною поточної моделі залишкового ресурсу виробничого модуля.

Вдосконалена модель (модель А) виробничої системи передбачала три режими виконання технологічної операції з різним рівнем навантаженості виробничого модуля і, відповідно, різними показниками залишкового ресурсу та переходу у граничний стан. Відповідно до результатів вибору експлуатаційної стратегії здійснювалася модифікація поточних параметрів моделі виробничої системи, яка передбачала перехід на відповідну обраному експлуатаційному режиму функціональну характеристику ресурсного показника. Проте, оскільки зміна експлуатаційного режиму має привести до підвищення надійності виробничої системи за рахунок зменшення навантаження на її компоненти або зменшення тривалості виконання одиначної технологічної операції, то до програми експерименту було включено дослідження модифікованої моделі (модель Б), яка враховувала збільшення початкового значення залишкового ресурсу при переході на альтернативний технологічний режим. Дослідження отриманих у ході імітаційного експерименту даних проводилося шляхом співставлення економічних оцінок наслідків експлуатації виробничої системи (кількості вироблених деталей) за обома розробленими моделями зміни ресурсу з базовими даними попереднього експерименту. Поведінка виробничої системи в імітаційних експериментах представлена на рис. 3 її сумарною продуктивністю у послідовних серіях зі 100 продуктивних циклів. Середню продуктивність за період до відмови для досліджених моделей виробничої системи подано у табл. 1.

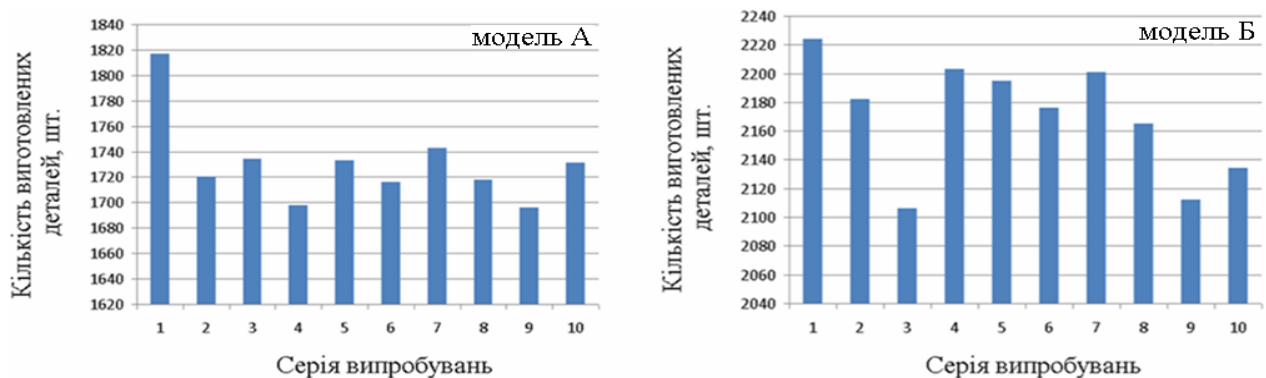


Рисунок 3 – Гістограми продуктивності виробничого модуля за моделями А та Б

Таблиця 1 – Продуктивність виробничого модуля

Модель виробничої системи	Середня продуктивність (шт.)	Середнє відхилення (шт.)	Приріст продуктивності, %
Базовий режим	16,16*	1,9680*	–
Спрощена модель	16,67*	2,0632*	3,16*
Модель А	17,306	1,9875	7,09
Модель Б	21,698	9,0602	34,27

* за даними для 100 продуктивних періодів.

Експерименти з дослідження ефективності методів візуалізації як засобу забезпечення системи управління діагностичними даними охоплювали випадки виділення контурних, спектральних, основних та статистичних візуальних ознак з використанням натурних і модельних тестових зображень технологічної зони, характерних для процесів високотемпературної обробки матеріалів. Було розроблено програмне забезпечення для формування динамічних імітаційних моделей зони зварювання у вигляді кольорового растрового зображення теплового поля, їхньої модифікації шляхом варіації адитивних шумів, масштабу, ступеню асиметрії та кута повороту повздовжньої осі вихідного образу. Комп'ютерні моделі формувалися за допомогою модифікованого сіткового методу розрахунку теплового поля за теплофізичними та технологічними параметрами (рис. 4). Отримані моделі світлової плями фіксованих розмірів дозволили оцінити ефективність виявлення технологічно значимих візуальних ознак при розпізнаванні зображень за методом на основі лінійних бінарних шаблонів (рис. 4б), за статистичними характеристиками (рис. 4в), за модифікованим методом спектральної пірометрії (рис. 4г) та ін.

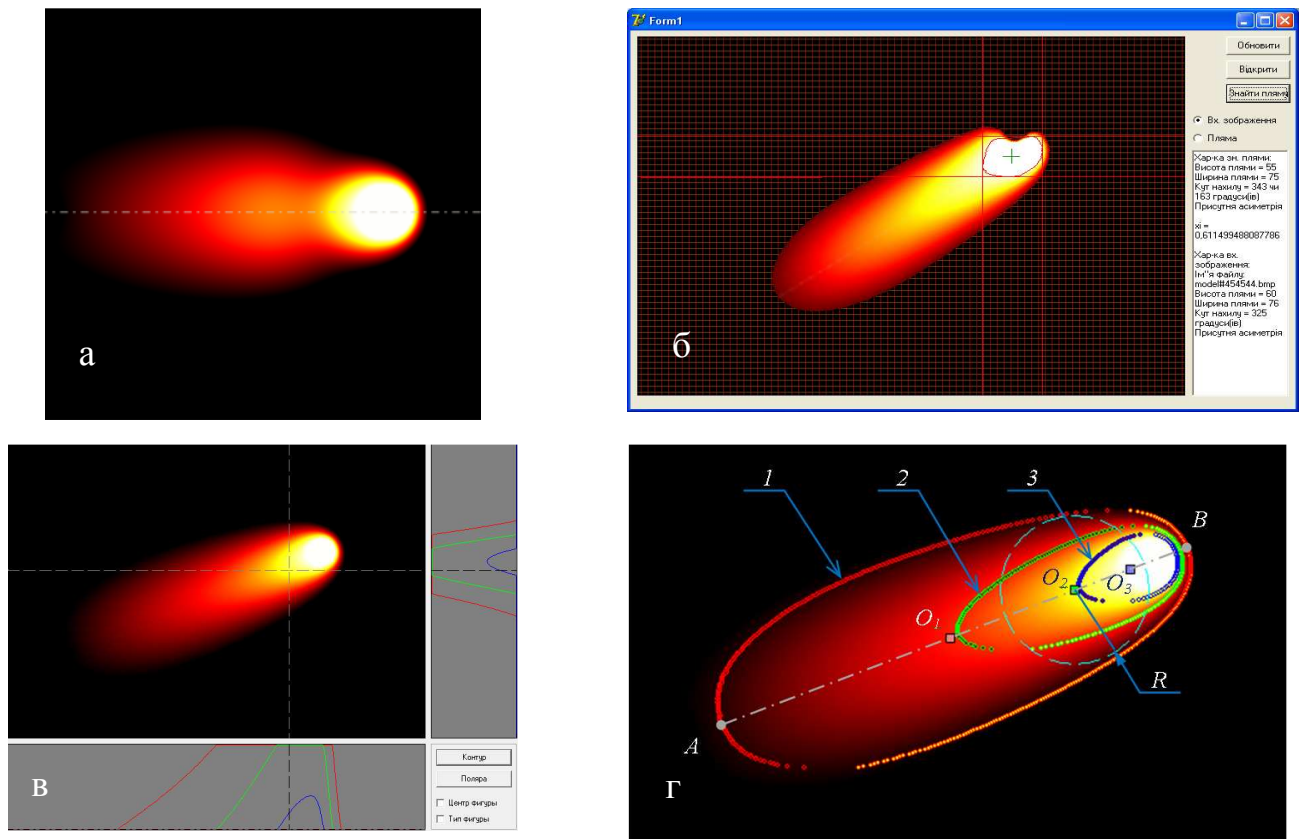


Рисунок 4 – Комп'ютерна візуальна модель зварювального процесу (імпульсний режим) (а) та її використання (неперервний режим) у експериментах з визначення метричних характеристик світлової плями (б), локалізації температурної області (в), виділення температурних зон та обрахунку параметрів апроксимуючих моделей (г)

З використанням натурних зображень, отриманих методами поляриметрії при дослідженні зразків обробленого шляхом електронно-променевого полірування оптичного скла, досліджено виділення візуальних ознак якості виробів.

Встановлено, що методами візуалізації можливо виявити наявність, локалізацію, характерні елементи, метричні та статистичні параметри спектральних областей, які характеризують оптичну однорідність і нанорельєф модифікованої поверхні.

З метою встановлення можливості впровадження розробленої інформаційної технології в високотемпературні виробничі процеси досліджено окремі елементи моделей візуалізації та управління, серед яких графова модель визначення показників надійності виробничої системи для прогнозування її станів та модель фокусування енергетичного потоку за ознакою чіткості зображення. Оскільки запропонована інформаційна технологія орієнтована на використання методу управління, який передбачає використання на всіх етапах великої кількості моделей, додатково досліджено засоби забезпечення її функціонування на цільовій програмно-апаратній платформі – у вбудованих системах реального часу. Для цього створено тестові моделі з актуальними для інтелектуальних модельно-орієнтованих систем експлуатаційними характеристиками, які використовували бенчмарки «синтетичного» (реалізують комбінацію «легких» і «важких» математичних операцій) та «апроксимаційного» (реалізують модель знаходження функції, яка апроксимує деякий ряд даних) типів. Для отримання комплексних оцінок варіантів створення та відпрацювання моделей, які враховують метричні характеристики зазначених методів на комплекс критеріїв експлуатаційної ефективності, розроблено методику на основі методу аналізу ієрархій. Одержані оцінки найефективніших засобів підтримки модельно-орієнтованої технології представлено у табл. 2.

Таблиця 2 – Комплексні оцінки засобів створення та опрацювання моделей

Засіб роботи з моделями	Комплексна оцінка для синтетичної моделі	Комплексна оцінка для апроксимаційної моделі
Python	0,192	0,258
DLL (C++)	0,388	0,353
LuaJIT	0,386	0,336

Таким чином, дослідження різних аспектів створення та експлуатації розробленої інформаційної технології засвідчило доцільність використання технічного зору для вирішення задач експрес-діагностики високотемпературних виробничих процесів і високу ефективність запропонованого методу керування.

П'ятий розділ присвячено аналізу та узагальненню результатів дослідження. Розглянуто можливості, які надає використання даних відеоспостереження на тактичному рівні в задачах керування параметрами технологічних процесів, а також застосування їх на стратегічному рівні управління при вирішенні завдань керування виробничими процесами в цілому. Даний розгляд виконано у контексті сучасних завдань управління виробничими процесами та актуальних наукових теорій.

Представлено способи інтеграції розробленої інформаційної технології у виробничі процеси, які передбачають використання в управлінні даних відеоспостереження як безпосередньо процесу високотемпературних перетворень, так і даних візуального післяопераційного контролю.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі сформульовано та вирішено задачу розробки інформаційної технології для підвищення ефективності управління виробничими процесами високотемпературної обробки за даними відеоспостереження.

Головним результатом дисертації є розроблена інформаційна технологія управління високотемпературними виробничими процесами, яка забезпечує інтеграцію методів і технологій візуалізації та адаптивного керування з використанням економічного критерію ефективності експлуатації обладнання.

У процесі дослідження були отримані нові наукові теоретичні та практичні результати, які дозволяють зробити такі висновки:

1. Встановлено, що використання каналу зворотного зв'язку на основі системи технічного зору дозволяє організувати інтелектуальне управління та вирішити всі основні задачі управління високотемпературними технологічними процесами, а також отримати додаткові можливості контролю якості виробів та моніторингу технічного стану обладнання. Це дозволяє розширити номенклатуру параметрів керування високотемпературними виробничими процесами та запропонувати нові методи післяопераційного контролю і супроводу виробів за даними відеоспостереження.

2. Запропоновано моделі візуальних ознак контурного, сегментаційного, статистичного, точкового і основного типів на основі проведеного дослідження інформативності натурних та імітаційних моделей візуальних сигналів високотемпературних процесів. Такі моделі забезпечують узгодження можливостей технологій візуалізації з параметрами динаміки та точності фізико-технічних методів обробки.

3. Запропоновано інтерпретацію візуальних даних спостереження виробничого процесу на основі методів теорії надійності для оцінки та формування прогнозу стану виробничої системи. Це дозволяє забезпечити комплексність використання даних візуалізації на всіх етапах життєвого циклу технологічного обладнання та виробів.

4. Розроблено та досліджено метод управління інтелектуальним модулем у виробничому середовищі, який дозволяє формувати поведінкову стратегію модуля шляхом адаптації виробничої системи за допомогою модифікації моделі управління при зміні поточного прогнозу її функціонування на основі екстремального принципу управління цільовим параметром. Запропонований метод дозволив побудувати інформаційну технологію управління високотемпературними процесами обробки, який забезпечує суттєве підвищення (на 5 – 30%) експлуатаційної ефективності виробничого обладнання.

5. Запропоновано механізми забезпечення швидкої зміни моделей у вбудованих адаптивних системах реального часу. Вироблено критерії і методи оцінки їхньої ефективності. Це дозволяє оптимізувати вибір адекватних програмно-апаратних засобів при розробці та впровадженні систем керування виробничими процесами.

6. Досліджено метричні характеристики запропонованих методів за допомогою комп'ютерних та натурних тестових моделей. Результати експериментів

дозволяють стверджувати про підвищення швидкості виділення інформаційних ознак (до 3 – 4 порядків) при збереженні технологічно прийнятної точності (не гірше 10 – 15%).

Розроблена інформаційна технологія сприяє реалізації таких з основних принципів ефективності виробничих процесів: ритмічності, безперервності, інтегративності, гнучкості та адаптивності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ярмілко А. В. Формування стратегії керування технологічним модулем за даними поточного моніторингу та експрес-діагностики / А. В. Ярмілко // Математичні машини і системи. – 2013. – № 1. – С. 102 – 110.
2. Литвинов В. В. Многопараметрическое адаптивное управление технологическим процессом электронно-лучевой сварки / В. В. Литвинов, А. В. Ярмілко // Математичні машини і системи. – 2013. – № 2. – С. 130 – 138.
3. Ярмілко А. В. Дослідження ефективності системи управління зі зміною стратегій / А. В. Ярмілко, Д. С. Приходько // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – 2013. – № 4 (81). – С. 77 – 81.
4. Ярмілко А. В. Забезпечення швидкої зміни моделі поведінки у вбудованих системах реального часу / А. В. Ярмілко, М. Ю. Багінський // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – 2013. – № 2 (79). – С. 51 – 55.
5. Ярмілко А. В. Використання методів візуалізації у діагностиці та управлінні електронно-променевим мікрообробленням оптичних матеріалів / А. В. Ярмілко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – (Серія «Технічні науки»): наук. зб. / Черніг. держ. технол. ун-т. – Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. – № 2 (65). – С. 156 – 161.
6. Yarmilko A. The choice of software platform as a means of increasing the resource efficiency and dynamic characteristics in embedded real-time control systems [Електронний ресурс] / A. Yarmilko, M. Bahinskyi, D. Prykhodko // Natural, Mathematical and Technical science (NaMaTech). – Budapest, 2013, December 6th-8th. – Режим доступу: <http://scaspee.com/6/post/2013/12/the-choice-of-software-platform-as-a-means-of-increasing-the-resource-efficiency-and-dynamic-characteristics-in-embedded-real-time-control-systems-a-yarmilko-m-bahinskyi-d-prykhodko.html>.
7. Ярмілко А. В. Вибір програмної платформи як засіб підвищення ресурсної ефективності та динамічних характеристик вбудованих систем реального часу / А. В. Ярмілко, М. Ю. Багінський, Д. С. Приходько // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Sciences. – Budapest, Hungary, 2013. – I (2), Issue 15. – P. 154 – 157.
8. Ярмілко А. В. Отримання та інтерпретація пірометричних даних в задачах діагностики та управління технологічними процесами / А. В. Ярмілко // Вісник Черкаського університету. – (Серія «Прикладна математика. Інформатика»). – 2014. – № 38 (331). – С. 70 – 80.
9. Інтелектуалізація процесу електронно-променевої обробки оптичних матеріалів / А. В. Ярмілко, В. В. Грабовський, О. Г. Бабак, А. М. Плешкань // Вісник

- Черкаського державного технологічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2015. – № 1. – С. 122 – 129.
10. Небилиця Ю. М. Програмна експрес-діагностика фізико-технічних методів обробки / Ю. М. Небилиця, А. В. Ярмілко // Інформаційні та моделюючі технології. ІМТ-2008: Перша міжнар. наук.-техн. конф., Черкаси, 11-12 червня 2008 р. : тези доп. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2008. – С. 18.
11. Ярмілко А. В. Використання технічного зору для виявлення неоднорідностей шва при електронно-променевому зварюванні / А. В. Ярмілко // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2009: Четверта наук.-практ. конф. з міжнар. участю, Київ, 22-26 червня 2009 р. : тези доп. – К.: ІПММС, 2009. – С. 173 – 175.
12. Ярмілко А. В. Комп'ютерна діагностика технологічного процесу електронно-променевого зварювання за зображенням теплового поля / А. В. Ярмілко // Інформаційні та моделюючі технології. ІМТ-2008: Друга міжнар. наук.-техн. конф., Черкаси, 21-24 травня 2009 р. : тези доп. – Черкаси: ЧНУ, 2009. – С. 48 – 49.
13. Ярмілко А. В. Дослідження ефективності системи технічного зору при визначенні просторових параметрів зварювальної плями / А. В. Ярмілко // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2010 : П'ята наук.-практ. конф. з міжнар. участю, Київ, 21-25 червня 2010 р. : тези доп. – К.: ІПММС, 2010. – С. 178.
14. Ярмілко А. В. Експрес-діагностика виробничих процесів за результатами відеоспостережень / А. В. Ярмілко, А. Ю. Небилиця // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2011 : Шоста наук.-практ. конф. з міжнар. участю, Чернігів, 27-30 червня 2011 р. : тези доп. – Чернігів: ФОП Васюта В.В., 2011. – С. 209 – 212.
15. Ярмілко А. В. Моделювання теплового поля для дослідження управління зварювальними процесами / А. В. Ярмілко // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних процесів: Х міжнар. наук.-техн. конф., Кременчук, 4-6 листопада 2011 р. : мат. конф. – Кременчук: КрНУ ім. Михайла Остроградського, 2011. – С. 168 – 169.
16. Ярмілко А. В. Формування стратегій поведінки інтелектуального модуля за його поточним станом / А. В. Ярмілко, Д. С. Приходько // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС '2012 : Сьома міжнар. наук.-практ. конф., Чернігів-Жукин, 25-28 червня 2012 р. : тези доп. – Чернігів: Редакційно-видавничий відділ Чернігівського державного технологічного університету, 2012. – С. 386 – 390.
17. Ярмілко А. В. Використання методів візуалізації для оцінки якості мікрообробки скляних пластин. / А. В. Ярмілко // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2013 : Восьма міжнар. наук.-практ. конф., Чернігів-Жукин, 24-28 червня 2013 р. : тези доп. – Чернігів, Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. – С. 243 – 246.
18. Ярмілко А. В. Зниження обчислювальної складності задачі виділення візуальних ознак високоенергетичних процесів / А. В. Ярмілко // Інформаційні та моделюючі технології (ІМТ-2014) : всеукр. наук.-практ. конф., Черкаси, 29-31 травня 2014 р. : тези доп. – Черкаси: ФОП Нечитайло О. Ф., 2014. – С. 72.
19. Приходько Д. С. Обґрунтування способу реалізації обрахування рівноваги Неша у задачах формування поведінкової стратегії для систем реального часу / Д. С. Приходько, А. В. Ярмілко // Математичне та імітаційне моделювання систем.

МОДС 2014: Дев'ята міжнар. наук.-практ. конф., Київ-Жукин, 23-27 червня 2014 р.: тези доп. – Чернігів: ЧДІЕУ, 2014. – С. 355 – 357.

20. Ярмілко А. В. Адаптивна модель для системи інтелектуального керування виробничими процесами / А. В. Ярмілко // Інформаційні та моделюючі технології (ІМТ-2015) : всеукр. наук.-практ. конф., Черкаси, 28-30 травня 2015р. : тези доп. – Черкаси: ПП Нечитайло О. Ф., 2015. – С. 61.

21. Ярмілко А. В. Модель візуалізації високотемпературних фізико-технічних процесів / А. В. Ярмілко // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2015 : Десята міжнар. наук.-практ. конф., Чернігів, 22-26 червня 2015 р.: тези доп. – Чернігів: Чернігівський національний технологічний університет, 2015. – С. 218 – 222.

АНОТАЦІЯ

Ярмілко А.В. Інформаційна технологія управління високотемпературними виробничими процесами за даними відеоспостереження. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ, 2015.

Дослідження спрямоване на підвищення ефективності виробничих систем високотемпературних фізико-технічних методів обробки шляхом більш повного використання інформаційного потенціалу відеосигналу та його інтерпретації в контексті управління всіма етапами життєвого циклу обладнання та виробів. При вирішенні цієї проблеми використано ознаковий підхід до трактування растрових зображень видових сцен високотемпературних процесів з урахуванням фізичної природи їхнього формування. Розроблено моделі візуалізації з використанням модифікованої методики спектральної фотометрії. Використання даних візуалізації в управлінні виробничими процесами запропоновано здійснювати на основі інформаційної технології, що базується на методі керування адаптивного типу. Метод забезпечує стратегічний і тактичний рівні керування виробничою системою, а також створює передумови для управління допоміжними і обслуговуючими виробничими процесами. Подано опис та результати проведених експериментальних досліджень методів виділення інформативних ознак, алгоритму управління та засобів забезпечення його функціонування. Отримані інформаційна технологія, методи, моделі, алгоритми та програми дозволяють підвищити загальносистемні характеристики виробничих систем високотемпературної обробки, якість виробів та сприяють реалізації принципів виробничої ефективності.

Ключові слова: система управління виробничими процесами, високотемпературні виробничі процеси, фізико-технічні методи обробки, технічний зір, технології візуалізації.

АННОТАЦИЯ

Ярмилко А. В. Информационная технология управления высокотемпературными производственными процессами по данным видеонаблюдения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, 2015.

Диссертационная работа направлена на повышение эффективности производственных систем со сложной структурой и динамикой путем создания на основе прогрессивных информационных технологий и внедрения в производство новых методов обеспечения гибкого управления производственными системами высокотемпературных физико-технических методов обработки с использованием для определения пространственных, спектральных и энергетических параметров визуального канала наблюдения, которые обеспечивают более полное использование информационного потенциала видеосигнала и его интерпретацию в контексте управления всеми этапами жизненного цикла оборудования и изделий.

В диссертации выполнен обзор сущности и классификации производственных процессов, задач управления ими в контексте современных научных концепций. Представлен анализ современного состояния, проблематики и методологии применения методов визуализации в производственных системах. Использование визуального канала получения данных является современной тенденцией в контексте общей интеллектуализации производственных систем вследствие возрастания сложности производственных процессов и комплексности задач управления ими, однако дальнейший прогресс во внедрении методов визуализации в управление требует решения ряда теоретических и практических вопросов, связанных с развитием методов интеграции визуальной информации в системы управления и принятия решений, разработкой методов выделения информативных признаков, обеспечением параметров информационных процессов визуализации на уровне требований управления современными производственными системами.

Рассмотрены технологии обработки данных видеонаблюдения высокотемпературных процессов обработки. Предложено использовать признаковый подход к интерпретации растровых изображений видовых сцен с учетом физической природы формирования визуального образа. С учетом присущих типичным физико-техническим методам обработки технологических особенностей, разработаны модели визуализации, соответствующие последовательным стадиям сжатия входного пространственного сигнала с использованием модифицированной методики спектральной пирометрии в области Вина. Полученные в процессе такого преобразования визуальные признаки нескольких типов имеют высокую информативность относительно качества технологического процесса и состояния производственной системы в целом. Использование данных визуализации в управлении производственными процессами предложено осуществлять на основе информационной технологии, которая опирается на разработанный метод управления, предусматривающий разбиение процесса управления на стратегический

и тактический уровни. Метод реализует адаптивный принцип управления и обеспечивает как выбор экономически эффективного способа эксплуатации производственного оборудования, так и управление параметрами технологического процесса. Концепция метода опирается на новую интерпретацию и интеграцию существующих научных методов в контексте их применимости к внедрению в актуальной прикладной области. Изложены основные положения предложенного метода управления, описан его алгоритм и использованные модели. Предложено проводить обобщение данных визуализации на основе методов теории надежности, что позволяет не только формировать оптимальную стратегию использования производственного оборудования при выполнении технологических операций, но и обеспечивать управление вспомогательными и обслуживающими производственными процессами и формировать стратегию сопровождения изделия.

В диссертации представлены описание и результаты экспериментальных исследований алгоритма управления со сменой стратегий, методов выделения информативных признаков по растровым изображениям технологической зоны, средств обеспечения функционирования систем управления со сменой стратегий во встроенных системах реального времени. Для исследования эффективности разработанных методов и алгоритмов управления созданы модели производственных систем с вариацией свойств, отражающей динамические характеристики движения системы и параметры её нагруженности. Анализ экспериментальных данных свидетельствует о существенном возрастании производительности производственного модуля при применении разработанного метода управления, а также эффективность методов визуализации как средства обеспечения системы управления диагностическими данными. Опыты по выделению контурных, спектральных, остовных и статистических визуальных признаков технологических процессов проводились с использованием натуральных и модельных тестовых изображений технологической зоны, характерных для процессов высокотемпературной обработки материалов. Также получены положительные результаты при исследовании отдельных элементов предложенной информационной технологии и средств обеспечения её функционирования на целевой программно-аппаратной платформе.

Выполнены анализ и обобщение полученных результатов относительно возможных направлений использования визуальных данных при управлении конкретными производственными процессами, способов интеграции разработанной информационной технологии и её влияния на реализацию принципов производственной эффективности. Отмечено, что полученные информационная технология, методы, модели, алгоритмы и программы позволяют повысить общесистемные характеристики производственных систем высокотемпературной обработки и качество изделий.

Ключевые слова: система управления производственными процессами, высокотемпературные производственные процессы, физико-технические методы обработки, техническое зрение, технологии визуализации.

ABSTRACT

Yarmilko A. V. Information technology of the controlling of high-temperature production process based on video surveillance data. – Manuscript.

Thesis for the degree of the Candidate of Science in Engineering. Speciality 05.13.06 – Information Technologies. – Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the NAS of Ukraine, Kyiv, 2015.

The research aims at improving the efficiency of the production systems of high-temperature physical and technical processing methods by means of better use of information potential of the video signal and its interpretation in the context of managing all stages of the equipment and product life cycle. For solving this problem we have used parametric approach to the interpretation of bitmapped specific scenes of high-temperature processes including physical nature of their forming. We have designed imaging models using modified methods of spectral photometry. We have suggested visualizing data use in the controlling of production process through information technology based on the adaptive control method type. This method ensures a strategic and tactical level in the controlling of production system, as well as creates conditions for managing support and server production processes. We have presented the description and results of the conducted experimental research of methods of isolating the informative signs, control algorithm, and means of ensuring its functioning. The obtained information technology, methods, models, algorithms, and programs make it possible to improve system-wide features of the production systems of high-temperature processing, product quality, as well as facilitate the implementation of the principles of production efficiency.

Keywords: control system of production processes, high-temperature production processes, physical and technical methods of processing, technical vision, imaging technologies.