

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МОСКАЛЕНКО В'ЯЧЕСЛАВ ВАСИЛЬОВИЧ



УДК 681.518

**СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ
РІШЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОЩУВАННЯ
СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ МОНОКРИСТАЛІВ ІЗ РОЗПЛАВУ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі комп'ютерних наук Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Довбиш Анатолій Степанович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри комп'ютерних наук

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кузнецов Борис Іванович,
Науково-технічний центр магнетизму
технічних об'єктів НАН України, м. Харків,
завідувач відділу проблем управління
магнітним полем

доктор технічних наук, професор
Петров Едуард Георгійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки
МОН України, м. Харків,
завідувач кафедри системотехніки

Захист відбудеться ____ _____ 2014 р. о _____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий ____ _____ 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Северин В. П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Застосування в автоматизованій системі керування технологічними процесами (АСКТП) вирощування скінтіляційних монокристалів (МК) інтелектуальної технології, здатної моделювати когнітивні процеси притаманні людині при прийнятті рішень, дозволяє підвищити точність та оперативність керування, конкурентноспроможність виробів та зменшити вплив людського фактору на виробничий процес. Дослідження механізму прийняття рішень при керуванні складними технологічними процесами у науково-технічній літературі знайшло відносно широке висвітлення завдяки ідеям і науковим здобуткам, перед усім, О. С. Івахненка, О. А. Павлова, П. А. Ладанюка, В. Н. Васильєва, В. С. Суздаля, Е. А. Бодянського, М. Месаровича, С. Брендли, Г. Блюмберга та інших вчених. При цьому науково-методологічні питання підвищення функціональної ефективності інтелектуальної АСКТП вирощування великогабаритних скінтіляційних монокристалів (МК) все ще залишаються недостатньо дослідженими через нестаціонарність, довільні початкові умови і вплив неконтрольованих збурюючих факторів на технологічний процес. Одним із перспективних шляхів підвищення функціональної ефективності системи керування вирощуванням великогабаритних скінтіляційних МК є надання їй властивості адаптивності на основі машинного навчання та розпізнавання образів. Тому тема дисертаційної роботи, що присвячена розробці інформаційно-екстремальних методів аналізу і синтезу АСКТП вирощування великогабаритних скінтіляційних МК, складовою частиною якої є інтелектуальна система підтримки прийняття рішень (СППР), є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі комп'ютерних наук Сумського державного університету згідно з планами держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України «Розроблення науково-методичних основ та інформаційних засобів проектування здатних самонавчатися адаптивних систем керування технологічними процесами» (ДР № 010910U001380) і «Розроблення науково-методичних основ та інформаційних засобів аналізу і синтезу інтелектуальних систем, що самонавчаються» (ДР №0112U001384) і договором про науково-технічне співробітництво між Сумським державним університетом і Інститутом скінтіляційних матеріалів НАН України (м. Харків), в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення функціональної ефективності системи підтримки прийняття рішень в складі АСКТП вирощування великогабаритних скінтіляційних монокристалів із розплаву за умов апріорної невизначеності, обумовленої довільними початковими умовами та впливом неконтрольованих збурюючих факторів на технологічний процес.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі:

- проаналізувати сучасний стан та тенденцію розвитку АСКТП вирощування великогабаритних скінтіляційних монокристалів із розплаву та фактори, що впливають на їх якість;
- розробити інформаційно-екстремальний метод навчання СППР з ієрар-

хічними, вкладеними гіперсферичними та мультимодальними гіпереліпсоїдними вирішальними правилами;

- розробити інформаційно-екстремальний метод самонавчання СППР для класифікаційного керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних МК;

- розробити математичні моделі та ефективні алгоритми оптимізації параметрів навчання СППР, що функціонує в режимі класифікаційного керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних МК;

- розробити критерії оцінки функціональної ефективності (КФЕ) інтелектуальної СППР для керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних МК;

- розробити метод визначення моменту часу перенавчання СППР для керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних МК;

- розробити засоби інформаційної технології аналізу і синтезу СППР для керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних МК із розплаву за умови апріорної невизначеності та нечіткої компактності реалізацій образу.

Об'єктом дослідження є процес керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних МК із розплаву.

Предмет дослідження – моделювання, оцінка функціональної ефективності, оптимізація та адаптація СППР, що функціонує в режимі класифікаційного керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних МК із розплаву за умов апріорної невизначеності.

Методи дослідження базуються на принципах і методах системного аналізу та ІЕІ-технології для побудови оптимальних в інформаційному розумінні вирішальних правил; методах теорії ймовірностей і математичної статистики для оцінки випадкових величин і перевірки статистичних гіпотез; методах та характеристиках теорії інформації для оцінки функціональної ефективності інтелектуальної СППР для керування вирощуванням сцинтиляційних МК; об'єктно-орієнтованій методології проектування складних систем для розробки інформаційного та програмного забезпечення СППР для керування вирощуванням сцинтиляційних МК.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше розроблено інформаційно-екстремальний метод аналізу і синтезу здатної навчатися СППР, який включає комплекс категорійних моделей та критерій оцінки функціональної ефективності, що дозволяє шляхом оптимізації параметрів функціонування надати АСКТП вирощування сцинтиляційних МК властивість адаптивності при її функціонуванні за умов апріорної невизначеності;

- вперше розроблено інформаційно-екстремальні методи навчання СППР з ієрархічними, вкладеними гіперсферичними та мультимодальними гіпереліпсоїдними вирішальними правилами, що дозволяє підвищити оперативність навчання СППР та достовірність розпізнавання функціональних станів АСКТП;

- вперше запропоновано метод прогностичної класифікації, що дозволяє

шляхом оцінки належності поточної порядкової статистики варіаційному блоку відповідної екстремальної порядкової статистики, одержаної на етапі навчання, визначити момент перенавчання СППР для керування вирощуванням сцинтиляційних МК;

– удосконалено метод автоматизації формування вхідного математичного опису СППР шляхом кластер-аналізу вхідних даних з одночасною оптимізацією словника ознак розпізнавання, що дозволяє підвищити ефективність навчання СППР при невизначеному алфавіті класів розпізнавання;

– дістав подальшого розвитку критерій оцінки функціональної ефективності СППР, що дозволяє здійснювати навчання за нерівними за обсягом вибірки та підвищити достовірність вирішальних правил.

Практичне значення одержаних результатів для виробництва функціональних матеріалів полягає у формуванні сучасної науково-методологічної основи проектування здатних самонавчатися СППР для керування технологічним процесом, що на практиці функціонує за довільних початкових умов та під впливом неконтрольованих збурюючих факторів.

Моделі, методи, алгоритми і пакети прикладних програм проектування здатної самонавчатися СППР при розв'язанні задач керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних МК із розплаву використано в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України (м. Харків). Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету.

Особистий внесок здобувача. Всі основні наукові результати, які винесено на захист, отримані здобувачем особисто. А саме: програмно-апаратний інструментарій побудови адаптивної АСКТП вирощування МК на базі інтелектуальної СППР; інформаційно-екстремальний алгоритм навчання та екзамену СППР з гіпереліпсоїдними вирішальними правилами; категорійні моделі та інформаційно-екстремальні алгоритми функціонування СППР в режимах навчання з оптимізацією вкладеної структури унімодальних вирішальних правил та екзамену з прогнозуванням моменту часу перенавчання; категорійні моделі та інформаційно-екстремальні алгоритми навчання СППР з бінарною ієрархічною структурою класів розпізнавання; алгоритм навчання СППР, що функціонує в режимі кластер-аналізу вхідних даних; узагальнена модифікація інформаційного критерію функціональної ефективності СППР.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науковій конференції «Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень '2011» (м. Одеса, 2011); 3-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інтелектуальні системи в промисловості і освіті» (м. Суми, 2011); 22-й Міжнародній Кримській конференції «Мікрохвильова техніка та телекомунікаційні технології» (м. Севастополь, 2012); III Міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості та освіті» (м. Варна, Болгарія, 2012); V Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні системи та мережеві технології» (м. Київ,

2012); Міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (м. Херсон, 2012).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 17 наукових публікаціях: 10 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у наукометричному міжнародному періодичному фаховому журналі; 6 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку. Повний обсяг дисертації складає 174 сторінок, у тому числі: 57 рисунків по тексту; 1 таблиця на 1 окремій сторінці; список використаних джерел з 143 найменувань на 16 сторінках, 3 додатки на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

У **першому розділі** подано аналітичний огляд наукових праць, присвячених питанням аналізу та синтезу АСКТП вирощування сцинтиляційних МК та сучасним методам машинного навчання та розпізнавання образів. Показано, що не зважаючи на суттєві досягнення в галузі автоматизації вирощування сцинтиляційних МК і великий обсяг публікацій за цією тематикою, функціональна ефективність АСКТП все ще не достатньо висока, оскільки відсутня інтелектуальна складова, пов'язана з моделюванням когнітивних процесів прийняття рішень, притаманних людині-оператору. Зазначено, що стримуючим фактором підвищення функціональної ефективності АСКТП вирощування сцинтиляційних МК, побудованої на базі інтелектуальної СППР, є нерозв'язані задачі науково-методологічного плану, пов'язані з розробкою методів побудови безпомилкових за багатовимірною навчальною матрицею вирішальних правил з метою надання системі властивості адаптивності шляхом використання ідей і методів машинного навчання та розпізнавання образів.

У **другому розділі** наведено теоретичні та методологічні основи інформаційного аналізу і синтезу інтегрованої в АСКТП вирощування сцинтиляційних МК здатної самонавчатися СППР. Встановлено, що технологічний процес вирощування великогабаритних сцинтиляційних МК на установках типу «РОСТ» (рис.1) є слабоформалізованим з довільними початковими умовами та впливом неконтрольованих збурюючих факторів, розроблено узагальнену структурну схему алгоритму керування процесом вирощування МК.

Наведено формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу адаптивної СППР, що функціонує в режимі прогностичного класифікаційного керування. Згідно з цією задачею для кожного інтервалу часу τ_r , $r = 1, r_{\max}$, де r_{\max} – кількість заданих інтервалів спостереження, на які розбито тривалість технологічного процесу, здійснено формування вхідного математичного опису

СППР, який включає відкритий впорядкований алфавіт параметричних класів розпізнавання $\{X_m^o(\tau_r) | m = \overline{1, M}\}^\Lambda$, що характеризують функціональний стан технологічного процесу на інтервалі часу τ_r . Сформовано для кожного алфавіту $\{X_m^o(\tau_r)\}^\Lambda$ нечітку багатовимірну (векторну) навчальну матрицю типу «об'єкт-властивість» $\{y_{m,i}^j(\tau_r) | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}\}$, де N, n – кількість ознак розпізнавання і векторів-реалізацій образу відповідно.

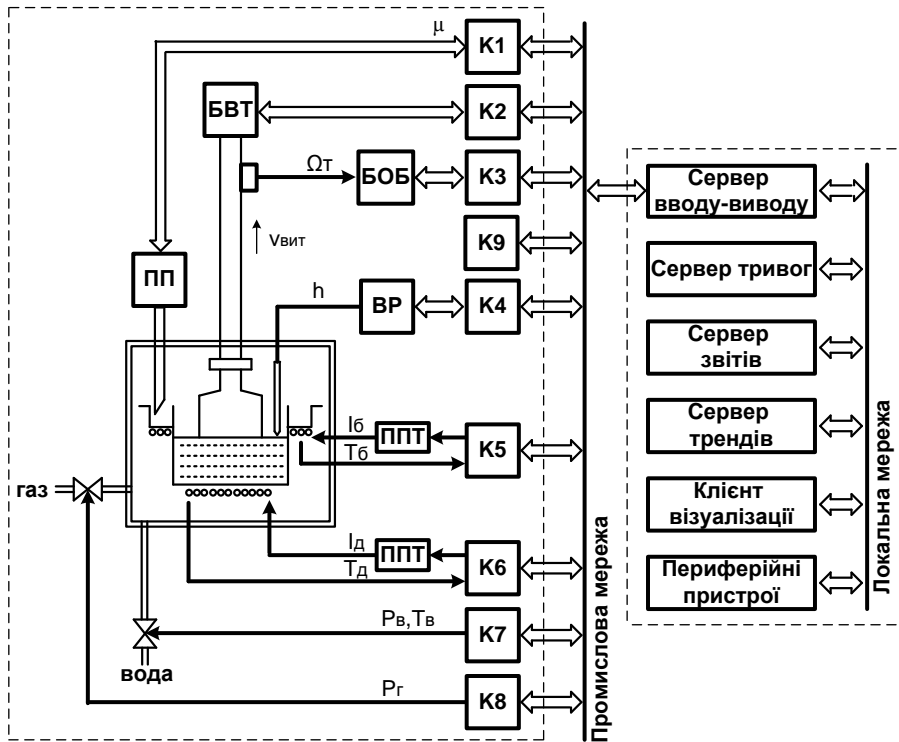


Рисунок 1. – Архітектура АСКТП вирощування МК на установках «РОСТ-5»:

ВР – вимірювач рівня розплаву; ПП – пристрій підживлення розплаву;

БВТ – блок витягування МК; БОБ – блок обертання МК; ППТ – підсилювач потужності; К1 – регулятор швидкості підживлення розплаву; К2 – регулятор швидкості витягування МК; К3 – регулятор швидкості обертання тиглю; К4 – регулятор рівня розплаву в тиглі; К5, К6 – регулятор температури бокового та донного нагрівачів; К7 – регулятор тиску та температури охолоджуючої рідини; К8 – регулятор параметрів газового середовища; К9 – регулятор діаметру МК

Інформаційно-екстремальне навчання СППР розглядається як оптимізація координат структурованого вектора параметрів функціонування g^* , які забезпечують на кожному інтервалі τ_r максимум усередненого за алфавітом класів розпізнавання КФЕ навчання СППР

$$\bar{E}^*(\tau_r) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{\{k\}} E_m(\tau_r), \quad (1)$$

де $E_m(\tau_r)$ – інформаційний КФЕ навчання СППР розпізнавати реалізації класу $X_m^o(\tau_r)$; $\{k\}$ – впорядкована множина кроків відновлення в радіальному базисі простору ознак розпізнавання контейнеру класу $X_m^o(\tau_r)$.

Робоча формула одержаної в роботі модифікації КФЕ за С. Кульбаком, що обчислюється на k -му кроці навчання СППР, для загального випадку різних обсягів навчальних вибірок і двохальтернативних рішень має вигляд

$$E_m^{(k)}(\tau_r) = \frac{n_c - n_m + 2[K_{1,m}^{(k)}(\tau_r) - K_{2,m}^{(k)}(\tau_r)]}{n_c + n_m} \log_2 \left(\frac{n_c + [K_{1,m}^{(k)}(\tau_r) - K_{2,m}^{(k)}(\tau_r)] + 10^{-r}}{n_m - [K_{1,m}^{(k)}(\tau_r) - K_{2,m}^{(k)}(\tau_r)] + 10^{-r}} \right), \quad (2)$$

де n_m, n_c – обсяги навчальних вибірок для класу $X_m^o(\tau_r)$ і сусіднього до нього класу $X_c^o(\tau_r)$ відповідно; $K_{1,m}^{(k)}(\tau_r), K_{2,m}^{(k)}(\tau_r)$ – кількість відповідно своїх і чужих реалізацій образу, що віднесено в процесі навчання СППР (включаючи k -й крок) до контейнеру класу $X_m^o(\tau_r)$; 10^{-r} – будь-яке мале додатне число.

У роботі розглянуто комплекс категорійних моделей як для мультимодальних класифікаторів з декількома центрами розсіювання реалізацій образів, так і для унімодальних класифікаторів з єдиним для всіх класів розпізнавання центром розсіювання, що має місце на практиці при оцінюванні поточного функціонального стану технологічного процесу вирощування сцинтиляційних монокристалів. На рис. 2 показано категорійну модель інформаційно-екстремального прогностичного навчання унімодальної СППР.

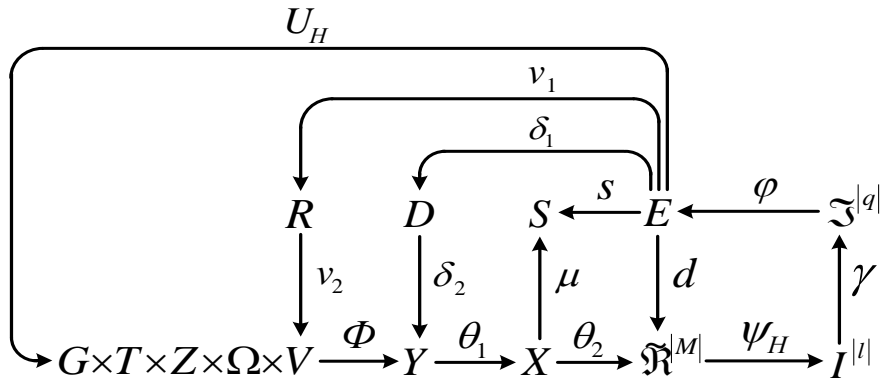


Рисунок 2. – Категорійна модель прогностичного навчання унімодальної СППР

Категорійна модель містить оператор формування багатовимірної навчальної матриці типу «об'єкт-властивість»

$$\Phi: G \times T \times Z \times \Omega \rightarrow Y,$$

де G – простір вхідних сигналів (факторів); T – множина моментів часу зчитування інформації; Z – простір функціональних і технічних станів СППР; Ω – простір ознак розпізнавання; Y – вхідна навчальна матриця.

Оператор $\theta_1 : Y \rightarrow X$ формує вибіркoву бінарну множину X – вхідну бінарну навчальну матрицю $\{x_{m,i}^{(j)}\}$. Оператор $\theta_2 : X \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ відновлює в процесі навчання СППР оптимальне розбиття простору ознак на класи еквівалентності. Оператор класифікації $\Psi_H : \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|} \rightarrow I^{|l|}$, де $I^{|l|}$ – множина l статистичних гіпотез, перевіряє основну статистичну гіпотезу про належність реалізації до контейнера класу X_m^o . Оператор $\gamma : I^{|l|} \rightarrow \mathfrak{S}^{|q|}$ формує за результатами перевірки основної статистичної гіпотези множину точнісних характеристик $\mathfrak{S}^{|q|}$, де $q = l^2$. Оператор ϕ обчислює терм-множину E значень інформаційного КФЕ, який є функціоналом точнісних характеристик. Оператори δ_1 і δ_2 змінюють на кожному кроці навчання систему D контрольних допусків на ознаки розпізнавання. Оператор μ обчислює для кожного класу розпізнавання множину екстремальних порядкових статистик (ЕПС) $\{S_m^*\}$, а оператор s впорядковує її за збільшенням ЕПС. Оператори $v_1 : E \rightarrow R$ і $v_2 : R \rightarrow V$, де R – множина порядків вкладеності контейнерів і V – множина вирішальних правил, замикають контур оптимізації порядку вкладеності контейнерів. Оператор $U_H : E \rightarrow G \times T \times \Omega \times Z$ регламентує процес навчання СППР.

Показано, що діаграма процесу прогностичного екзамену за унімодальним класифікатором за топологією не відрізняється в рамках ІЕІ-технології від діаграми відображення множин при мультимодальному класифікаторі, але відрізняється функцією оператора формування терм-множини F значень функцій належності реалізацій, що розпізнаються, контейнеру класу $X_m^o(\tau_r)$, яка для унімодального класифікатора має вигляд

$$\mu_{m,j}(\tau_r) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } d_{m-1}^*(\tau_r) < d[x_1(\tau_r) \oplus x^{(j)}(\tau_r)] < d_m^*(\tau_r); \\ 0, & \text{інакше}; \end{cases} \quad (3)$$

де $d[x_1(\tau_r) \oplus x^{(j)}(\tau_r)]$ – кодова відстань між еталонним вектором x_1 і реалізацією, що розпізнається; $d_{m-1}^*(\tau_r)$ – оптимальний радіус контейнера класу $X_{m-1}^o(\tau_r)$; $d_m^*(\tau_r)$ – оптимальний радіус контейнера класу $X_m^o(\tau_r)$.

Показано, що використання унімодального класифікатора у порівнянні з мультимодальним зменшує обчислювальну трудомісткість алгоритму навчання СППР і дозволяє прогнозувати зміну функціональної ефективності за одновимірною прогностичною функцією нормованого числа потраплянь ознак розпізнавання в межі своїх контрольних допусків, що підпорядкована закону χ^2 і є чутливою до зміни функціонального стану АСКТП.

Запропоновано категорійну модель і на її базі розроблено ієрархічний алгоритм навчання, за яким на кожному ярусі структури даних в процесі навчання

відновлюється в радіальному базисі простору ознак оптимальний контейнер одного із класів до тих пір, доки потужність алфавіту не зменшиться до двох.

Для побудови безпомилкових за навчальною вибіркою вирішальних правил для розподілів реалізацій образів довільної конфігурації запропоновано метод побудови гіпереліпсоїдних вирішальних правил. При цьому для зменшення обчислювальної трудомісткості алгоритму навчання СППР побудова гіпереліпсоїдного контейнера здійснюється шляхом корекції побудованого на попередньому етапі оптимального гіперсферичного контейнера, орієнтуючи його в напрямі розподілу реалізацій образу.

Запропоновано інформаційно-екстремальний метод кластеризації даних ретроспективних трендів вирощування великогабаритних скінтіляційних МК, одержаних на установці типу «РОСТ». Метод полягає в побудові за процедурою Густафсона-Кесселя або «зсуву середнього» апріорного нечіткого розбиття простору ознак з подальшою адаптивною настройкою його параметрів в процесі інформаційно-екстремального навчання СППР, що дозволило автоматизувати формування вхідної навчальної матриці і побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила.

Розроблено модель інформаційно-екстремального факторного кластер-аналізу, яка дозволяє автоматично в перебігу технологічного процесу виділяти нові класи, що характеризують можливі його функціональні стани. При цьому в процесі донавчання СППР для нового алфавіту класів розпізнавання оптимізується словник ознак розпізнавання, оскільки неінформативні ознаки для початкового алфавіту стають інформативними при збільшенні класів розпізнавання.

В третьому розділі розроблені і програмно реалізовані інформаційно-екстремальні алгоритми оптимізації параметрів функціонування СППР для керування технологічним процесом вирощування скінтіляційних МК із розплаву за даними, одержаними на установці типу «РОСТ», та досліджено їх вплив на функціональну ефективність навчання і самонавчання системи.

Удосконалено базовий інформаційно-екстремальний алгоритм для гіперсферичного класифікатора, який на відміну від відомого, оснований на принципі найближчого сусіда, реалізує принцип K -найближчих сусідів, що дозволило враховувати вплив розподілу реалізацій всіх класів і підвищити цим максимальну асимптотичну достовірність навчання СППР. При цьому одержані за алгоритмом паралельної оптимізації квазіоптимальні контрольні допуски на ознаки розпізнавання використано як стартові при реалізації алгоритму послідовної оптимізації поля контрольних допусків у вигляді ітераційної процедури пошуку глобального максимуму усередненого КФЕ (1):

$$\{\delta_i^*\} = \left\langle \arg \otimes_{l=1}^L \max_{G_{\delta_i}} \left[\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left[\max_{\{d_m\} \in G_{d_m}} E_m \right] \right] \right\rangle, \quad i = \overline{1, N}, \quad (4)$$

де G_{δ_i} – область допустимих значень параметра поля контрольних допусків для

i -ї ознаки; \otimes – символ операції повторення; L – кількість прогонів ітераційної процедури послідовної оптимізації контрольних допусків.

Розроблено і програмно реалізовано алгоритм побудови унімодального класифікатора для структурно впорядкованого алфавіту класів розпізнавання, фактографічно доведено, що його використання дозволило підвищити достовірність і оперативність навчання СППР для структурованого алфавіту $\{X_m^o(\tau_r)\}$ при керуванні технологічним процесом вирощування великогабаритних сцинтиляційних МК. Крім того, за алгоритмом паралельної оптимізації поля контрольних допусків оптимізовано порядок вкладеності контейнерів класів розпізнавання для одержання максимальної функціональної ефективності навчання СППР (рис. 3).

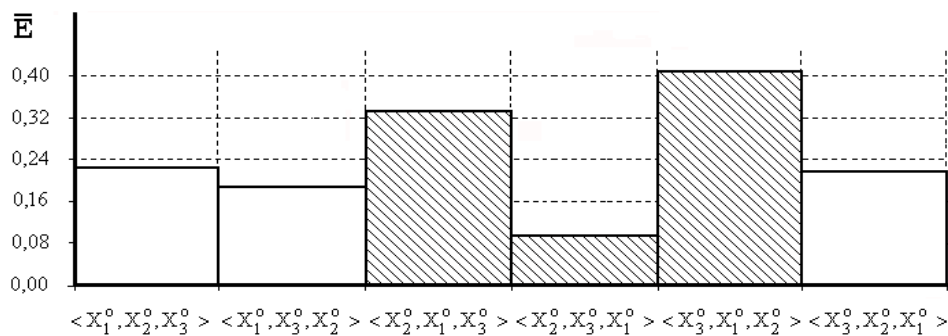


Рисунок 3. – Гістограма залежності усередненого нормованого КФЕ від порядку вкладеності контейнерів класів розпізнавання

Аналіз рис. 3, показує, що оптимальною впорядкованою структурою алфавіту класів розпізнавання є структура $\langle X_3^o, X_1^o, X_2^o \rangle$, яка відповідає максимуму усередненого КФЕ навчання в допустимій області його визначення.

На рис. 4 показано залежність усередненого значення нормованої модифікації критерію Кульбака (2) від числа прогонів ітераційної процедури (4) послідовного алгоритму оптимізації поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання для оптимальної структури $\langle X_3^o, X_1^o, X_2^o \rangle$.

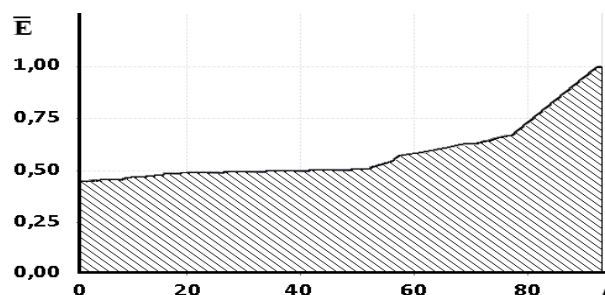


Рисунок 4. – Графік залежності усередненого КФЕ від числа прогонів ітераційної процедури оптимізації поля контрольних допусків

Аналіз рис. 4 показує, що оптимальні поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання одержано на 92 прогоні процедури послідовної оптимізації, на якому досягнуто глобальний максимум усередненого нормованого інформаційного КФЕ $\bar{E} = 1$, що свідчить про побудову безпомилкових за навчальною матрицею вирішальних правил.

Розроблено і програмно реалізовано інформаційно-екстремальний алгоритм навчання СППР з гіпереліпсоїдними вирішальними правилами. Показано, що перехід від гіперсферичних вирішальних правил до гіпереліпсоїдних дозволяє підвищити КФЕ навчання через можливість найбільш повного врахування реальної конфігурації розподілу векторів-реалізацій образу. З метою уникнення зниження оперативності навчання на початковому етапі навчання оптимізація генотипних параметрів здійснюється в процесі відновлення квазіоптимальних гіперсферичних контейнерів, в межах яких здійснюється пошук фокусів оптимальних гіпереліпсоїдних контейнерів при незмінних словнику ознак розпізнавання та їх контрольних допусках. Реалізацію такої корекції запропоновано здійснювати шляхом пошуку оптимальної пари фокусів твірного еліпса в межах габаритів початкової гіперсфери. Як фокуси гіпереліпсоїдного контейнера в N -вимірному двійковому просторі запропоновано розглядати точки $x_m^{(v)}$, віддалені від двійкового еталонного вектора x_m на фокальну відстань $c_m = d(x_m \oplus x_m^{(v)})$, що утворює множину потенційних фокусів $\{x_m^{(v)} \mid v = \overline{1, V}\}$, де

$$V = \frac{N!}{c_m!(N - c_m)!}.$$

Для підвищення оперативності алгоритму запропоновано множину точок потенційних фокусів $\{x_m^{(v)} \mid v = \overline{1, N}\}$ утворювати шляхом послідовних N зсувів операції інверсії вліво на одну координату над послідовно розміщеними c_m координатами еталонного вектора x_m . В результаті ітераційна процедура пошуку оптимальної пари фокусів набуває вигляду

$$\langle x_{m1}, x_{m2} \rangle^* = \arg \left\{ \max_{\{c_m\}} \left\{ \max_{\{p\}} E_m^* (\langle x_{m1}^{(p)}, x_{m2}^{(p)} \rangle) \right\} \right\},$$

де p – лічильник сформованої множини пар фокусів $\{\langle x_{m1}^{(p)}, x_{m2}^{(p)} \rangle\}$, $p = \overline{1, P}$, утвореної із множини потенційних фокусів.

Належність двійкового вектора-реалізації до гіпереліпсоїдного контейнера класу X_m^o визначається за умовою

$$\text{Якщо } d(x_{m1} \oplus x^{(j)}) + d(x_{m2} \oplus x^{(j)}) \leq 2d_m^e, \text{ то } x^{(j)} \in X_m^o, \text{ інакше } x^{(j)} \notin X_m^o,$$

де $d(x_{m1} \oplus x^{(j)})$ – кодова відстань між вектором $x^{(j)}$ і першим фокусом

контейнера класу X_m^o ; $d(x_{m2} \oplus x^{(j)})$ – кодова відстань між вектором $x^{(j)}$ і другим фокусом контейнера класу X_m^o ; $2d_m^e$ – порогове значення, яке інтерпретується як подвійне значення довжини великої півосі гіпереліпсоїдного контейнера класу X_m^o .

Доведено, що при обмеженні вибору фокальної відстані умовою $2c_m < d_m$, а вибору пари фокусів умовою $d(x_{m1}^{(p)} \oplus x_{m2}^{(p)}) = 2c_m$, за умови $d_m^e = d_m - c_m$ гіпереліпсоїдний контейнер буде вписаним у початкову гіперсферу, а за умови $d_m^e > d_m - c_m$ гіпереліпсоїдний контейнер виходить за межі початкової гіперсфери, що дозволяє покривати додаткові області знаходження своїх реалізацій.

Алгоритм екзамени для класифікатора з гіпереліпсоїдними вирішальними правилами базується на аналізі значень функції належності реалізації образу, що розпізнається, контейнеру класу X_m^o , яка обчислюється за формулою

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x_{m1}^* \oplus x^{(j)}) + d(x_{m2}^* \oplus x^{(j)}) - d(x_{m1}^* \oplus x_{m2}^*)}{2d_m^e - d(x_{m1}^* \oplus x_{m2}^*)}, \quad (5)$$

де $d(x_{m1}^* \oplus x_{m2}^*)$ – кодова відстань між оптимальною парою фокусів контейнера класу X_m^o .

Розроблено і досліджено ієрархічний інформаційно-екстремальний алгоритм навчання СППР з бінарною ієрархічною структурою, на кожному рівні якої відокремлюється із початкового алфавіту один клас з безпомилковим за навчальною матрицею для цього рівня вирішальним правилом. На прикладі оцінки поточного функціонального стану технологічного процесу вирощування сцинтиляційних монокристалів із розплаву показано, що застосування ієрархічної структури алгоритму навчання у порівнянні з однорівневою структурою для алфавітів класів розпізнавання однакової потужності підвищує оперативність навчання та достовірність вирішальних правил.

Запропоновано алгоритм оптимізації словника ознак розпізнавання за уні-модальними гіперсферичними та мультимодальними гіпереліпсоїдними вирішальними правилами. Показано на прикладі СППР для керування технологічним процесом вирощування сцинтиляційних МК із розплаву, що процес оптимізації словника ознак при використанні унімодальних гіперсферичних та мультимодальних гіпереліпсоїдних вирішальних правил у порівнянні з мультимодальним гіперсферичним класифікатором відрізняється суттєво підвищеною оперативністю та меншою кількістю заважаючих ознак.

Розроблено інформаційно-екстремальні алгоритми кластер-аналізу, один з яких використовує вкладену процедуру Густафсона-Кесселя, а другий оснований на виділенні в бінарному просторі ознак розпізнавання кластерів за принципом «зсуву середнього» з нарощуванням радіусу. Розроблені алгоритми доз-

волили автоматизувати формування вхідного математичного опису СППР для керування технологічним процесом вирощування сцинтиляційних МК із розплаву і побудувати чітке розбиття простору ознак на кластери, ідентичне ручному розбиттю, здійсненому експертами прикладної області. Показано, що інформаційний КФЕ (2) може розглядатися як критерій відносної валідації результату кластеризації і підтверджено переваги застосування в інформаційно-екстремальному алгоритмі гіпереліпсоїдної корекції вирішальних правил.

На базі унімодального прогностичного класифікатора розроблено категорійну модель і алгоритм прогнозування моменту часу перенавчання СППР для керування технологічним процесом вирощування сцинтиляційних МК із розплаву, що дозволяє запобігти зниженню функціональної ефективності АСКТП шляхом вчасного проведення профілактичних робіт та перенавчання СППР.

У четвертому розділі розроблено функціональну структуру та архітектуру програмного забезпечення СППР для керування технологічним процесом вирощування великогабаритних сцинтиляційних монокристалів із розплаву за методом Чохральського.

Структура інтелектуальної СППР в рамках ІЕІ-технології містить два обов'язкові самостійні модулі – модуль навчання та модуль екзамену, які будучи розділеними в часі та просторі інформаційними зв'язками непрямым чином взаємодіють через єдину базу знань та підсистему людино-машинного інтерфейсу (рис. 5).

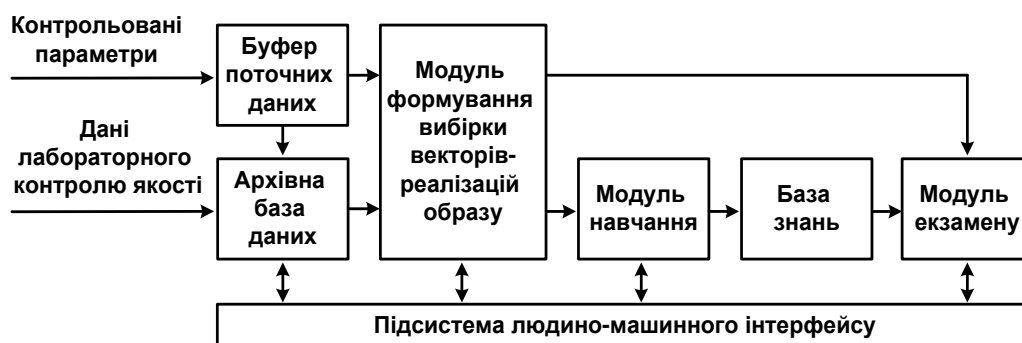


Рисунок 5. – Узагальнена структурна схема інтелектуальної СППР

На рис. 5 показано графічний інтерфейс режиму екзамену, призначений для спостереження за процесом розпізнавання функціонального стану АСКТП. Інтерфейс відображає результати оцінки функціонального стану АСКТП у вигляді гістограми функцій належності (3) у випадку застосування гіперсферичного класифікатора або (5) – у випадку гіпереліпсоїдного. При цьому будується тренд зміни в часі поточної екстремальної статистики. У випадку розширення алфавіту класів передбачена кнопка «Донавчання», а при виході екстремальної статистики за межі довірчого коридору здійснюється перехід на вкладку «Навчання» з метою перенавчання за оновленою навчальною матрицею. На рис. 6, як приклад, показані спливаючі повідомлення з рекомендаціями для оператора.

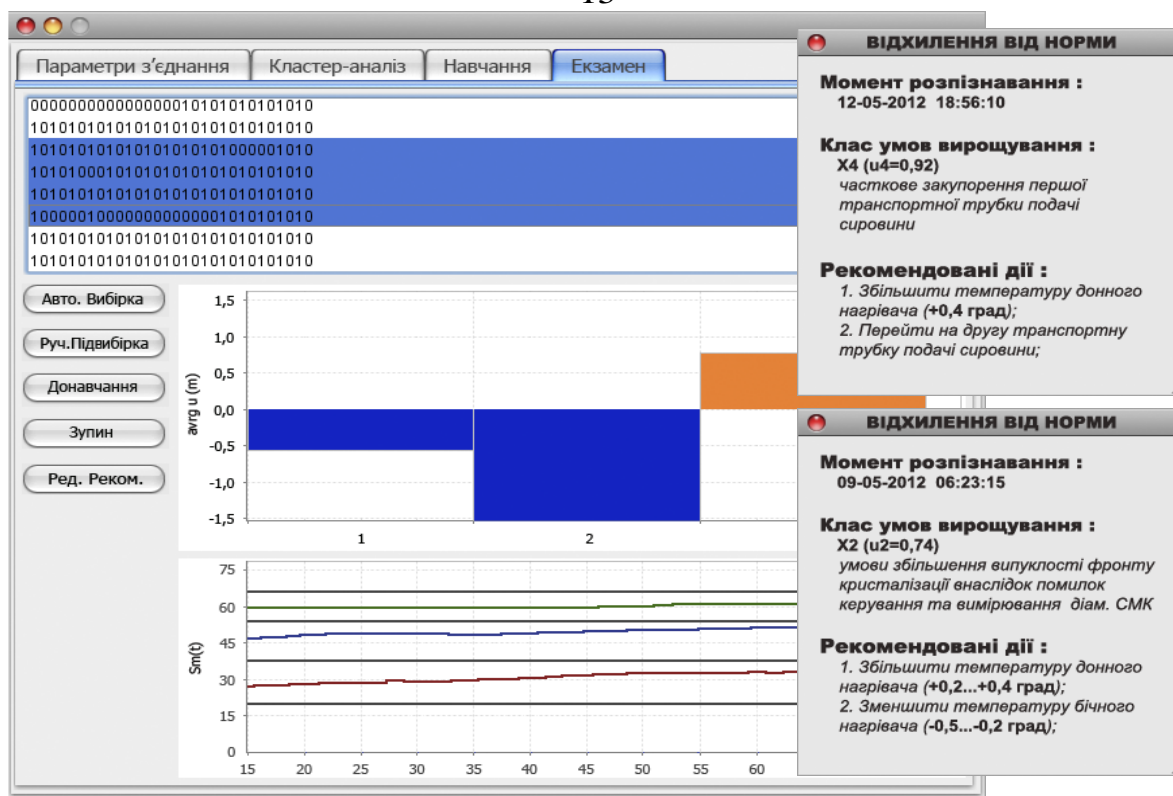


Рисунок 6. – Графічний інтерфейс СППР в режимі екзамену

Оскільки стабільність діаметру МК є непрямым показником його якості, а рівномірність розподілу активатора по об'єму МК є однією з основних характеристик, що прямо впливає на світловихід та енергетичну роздільну здатність сцинтилятора, то на рис. 7 і рис. 8 показано відповідно результати порівняння до і після застосування інтелектуальної СППР впродовж 31-ї години вирощування МК.

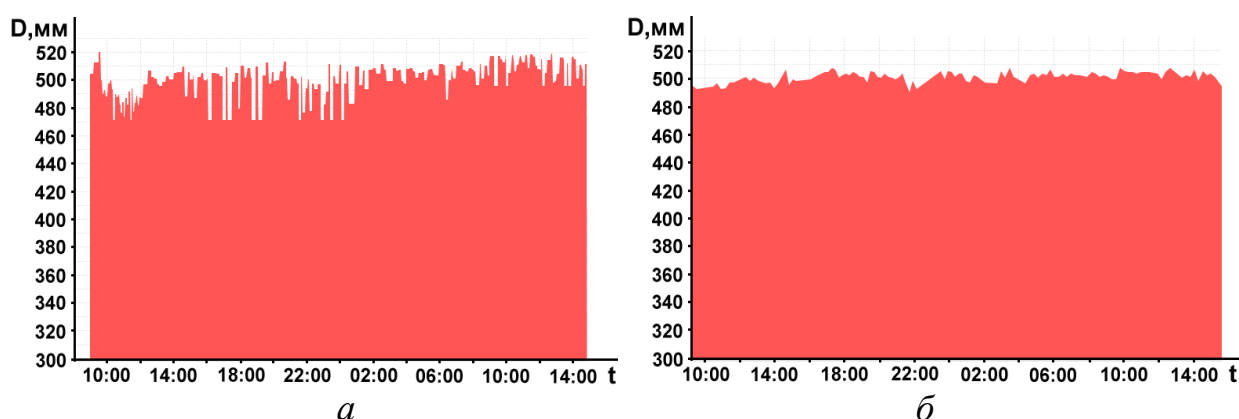


Рисунок 7. – Зміни діаметру МК CsI(Na) на однаковому часовому інтервалі:
a – до застосування інтелектуальної СППР; *б* – при її застосуванні

Аналіз рис. 7 показує, що внаслідок своєчасної корекції технологічних параметрів інтелектуальною АСКТП середнє відхилення діаметру МК зменшилося вдвічі, що дозволило підвищити відсоток товарного виходу буль.

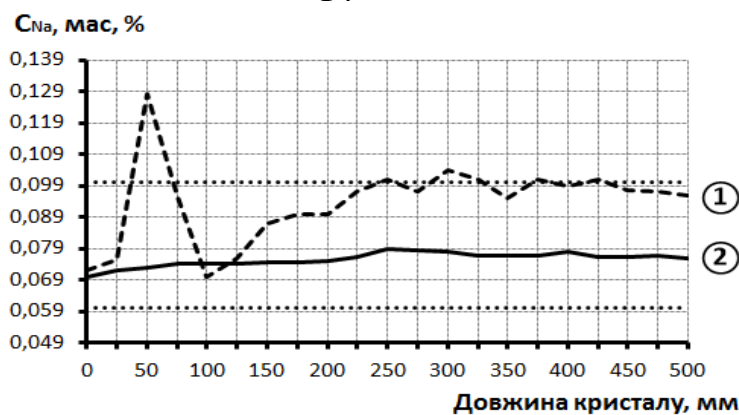


Рисунок 8. – Розподіл концентрації активатора по довжині МК CsI(Na):
1 – до застосування інтелектуальної СППР; 2 – при її застосуванні

Аналіз рис. 8 показує, що застосування розробленої інтелектуальної СППР забезпечує рівномірність розподілу концентрації активатора по довжині МК, що призводить до підвищення світловиходу та енергетичної роздільної здатності сцинтилятора.

Результати дисертації впроваджені у вигляді моделей, методів, алгоритмів і пакетів прикладних програм проектування адаптивної АСКТП вирощування великогабаритних сцинтиляційних МК із розплаву, що підтверджується актом використання в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України (м. Харків) та актом впровадження в навчальний процес Сумського державного університету.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано науково-практичну задачу аналізу і синтезу здатної навчатися СППР для автоматизації технологічного процесу вирощування великогабаритних сцинтиляційних монокристалів із розплаву за умови апіорної невизначеності. Наукові та практичні результати роботи полягають у такому:

1. За результатами аналітичного огляду джерел інформації проаналізовано сучасний стан та тенденцію розвитку АСКТП вирощування великогабаритних сцинтиляційних монокристалів із розплаву і показано, що використання сучасних засобів автоматизації, наприклад, у вигляді цифрових ПД-регуляторів не дозволяє ефективно розв'язувати задачі автоматизації технологічних процесів через довільні початкові умови та вплив неконтрольованих збурюючих факторів і зроблено висновок про необхідність надання АСКТП властивості адаптивності шляхом самонавчання і розпізнавання образів.

2. Розроблено інформаційно-екстремальні методи синтезу СППР з гіпереліпсоїдним мультимодальним, з гіперсферичним унімодальним та ієрархічним класифікаторами, що дозволило побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила.

3. Розроблено інформаційно-екстремальні методи кластер-аналізу вхідних даних із вкладеними процедурами Густафсона-Кесселя і «зсуву середнього» для бінарного простору ознак розпізнавання і факторного кластер-аналізу архівних даних моніторингу технологічного процесу, що дозволило автоматизувати формування вхідного математичного опису СППР для керування технологічним процесом вирощування сцинтиляційних МК із розплаву і побудувати чітке розбиття простору ознак на кластери, ідентичне ручному розбиттю.

4. Удосконалено інформаційно-екстремальний метод синтезу СППР з оптимізацією словника ознак розпізнавання, що дозволило підвищити повну ймовірність правильного прийняття керуючих рішень і зменшити кількість заважаючих ознак розпізнавання.

5. Запропоновано комплекс логічно пов'язаних інформаційно-екстремальних категорійних моделей здатної самонавчатися СППР для керування технологічним процесом вирощування сцинтиляційних МК із розплаву, які дозволяють розробити алгоритми оптимізації параметрів функціонування для побудови безпомилкових за навчальною та контрольною багатовимірними матрицями вирішальних правил.

6. Удосконалено критерій функціональної ефективності навчання СППР і на його базі розроблено метод оцінки функціональної ефективності навчання СППР з навчальними матрицями різних обсягів, що дозволило реалізувати узагальнений принцип K -найближчих сусідів і збільшити достовірність вирішальних правил при побудові унімодальних класифікаторів та кластер-аналізі вхідних даних.

7. Удосконалено інформаційно-екстремальний метод прогнозування зміни функціональної ефективності СППР для вирощування сцинтиляційних МК, що дозволяє при використанні вкладених вирішальних правил визначати момент часу перенавчання.

8. Розроблено вхідний математичний опис, функціональну структуру та апаратно-програмне забезпечення СППР для керування технологічним процесом вирощування великогабаритних сцинтиляційних МК із розплаву за модифікованим методом Чохральського. Показано, що середнє відхилення діаметру МК, що контролювався на однаковому часовому інтервалі після початку вирощування МК при застосуванні системи керування з інтелектуальним регулятором зменшилося вдвічі у порівнянні з існуючою системою керування. При цьому забезпечується рівномірність розподілу концентрації активатора по довжині МК, що призводить до підвищення світловиходу та енергетичної роздільної здатності сцинтилятора.

9. Результати дисертації впроваджено у вигляді моделей, методів, алгоритмів і пакетів прикладних програм проектування здатної самонавчатися СППР при розв'язанні задач керування технологічним процесом вирощування великогабаритних сцинтиляційних МК із розплаву в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України (м. Харків) і в навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Москаленко В. В. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для керування вирощуванням монокристалів / А. С. Довбиш, В. С. Суздаль, В. В. Москаленко // Вісник Сумського державного університету. – Суми : СумДУ. – 2011. – №2. – С. 39-47.

Здобувачем запропоновано категорійну модель і алгоритм навчання СППР для керування вирощуванням монокристалів.

2. Москаленко В. В. Оптимізація параметрів навчання системи керування вирощуванням монокристалів / А. С. Довбиш, В. В. Москаленко // Адаптивні системи автоматичного управління. – Київ: НТУУ «КПІ». – 2011. – №19(39). – С. 24-35.

Здобувач розробив алгоритм та програмно-апаратний інструментарій побудови адаптивної АСКТП вирощування монокристалів.

3. Москаленко В. В. Оптимізація словника ознак розпізнавання для інформаційно-екстремального гіпереліпсоїдного класифікатора / А. С. Довбиш, В. В. Москаленко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУУ «ХПІ». – 2012. – № 30. – С. 65-77.

Здобувачем запропоновано категорійну модель та інформаційно-екстремальний алгоритм навчання СППР з оптимізацією словника ознак і гіпереліпсоїдними вирішальними правилами.

4. Москаленко В. В. Інформаційно-екстремальний унімодальний класифікатор з паралельно-послідовною оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання / В. В. Москаленко, І. В. Шелехов, О. В. Соколов // Автоматизовані системи управління та прилади автоматики. – Харків : ХНУРЕ. – 2011. – №156. – С. 42-47.

Здобувачем розроблено алгоритм навчання СППР з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання для унімодального класифікатора.

5. Москаленко В. В. Інформаційно-екстремальний алгоритм унімодального класифікатора для оцінки діаметру монокристала, що вирощується / А. С. Довбиш, В. В. Москаленко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків : НАКУ «ХАІ». – 2012. – №1(53). – С. 114-119.

Здобувачем запропоновано категорійну модель та інформаційно-екстремальний алгоритм навчання СППР.

6. Москаленко В. В. Інформаційно-екстремальне навчання системи підтримки прийняття рішень з адаптивною кластеризацією даних / В. В. Москаленко // Вісник Сумського державного університету. – Суми : СумДУ. – 2012. – №3. – С. 92-106.

7. Москаленко В. В. Прогнозування моменту перенавчання інформаційно-екстремального унімодального класифікатора / В. В. Москаленко // Біоніка інтелекту. – Харків : ХНУРЕ. – 2012. – №2(79). – С. 47-52.

8. Оптимізація словника ознак розпізнавання для інформаційно-екстремального унімодального класифікатора / І. В. Кузьмін, В. В. Москаленко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця : ВНТУ. – 2012. – №5. – С. 91-97.

Здобувачем удосконалено категорійну модель і алгоритм навчання СППР з оптимізацією словника ознак розпізнавання і унімодальними вирішальними правилами.

9. Москаленко В. В. Ієрархічний інформаційно-екстремальний класифікатор / В. В. Москаленко, С. А. С. М. Джулгам // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків : НАКУ «ХАІ». – 2012. – №3(55). – С. 86-93.

Здобувачем розроблено категорійну модель та алгоритму інформаційно-екстремального ієрархічного класифікатора.

10. Москаленко В. В. Інформаційно-екстремальна кластеризація даних / В. В. Москаленко // Автоматизовані системи управління та прилади автоматики. – Харків : ХНУРЕ. – 2012. – №160. – С. 75-84.

11. Moskalenko V. V. Information-Extreme Algorithm for Optimizing Parameters of Hyperellipsoidal Containers of Recognition Classes / A. S. Dovbysh, N. N. Budnyk, V. V. Moskalenko // Journal of automation and information sciences. – New York: Begell House Inc. – V. 44. – 2012. – P. 35-44.

Здобувачем розроблено алгоритм оптимізації параметрів навчання СППР з гіпереліпсоїдними вирішальними правилами.

12. Москаленко В. В. Класифікаційне прогностичне керування вирощуванням сцинтиляційних монокристалів / А. С. Довбиш, В. В. Москаленко // Збірник праць Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень '2011». – Т. 3. – Одеса : Чорномор'є. – 2011. – С. 12-14.

Здобувачем розроблено алгоритм прогностичного навчання СППР, що функціонує в режимі факторного кластер-аналізу.

13. Москаленко В. В. Класифікаційний регулятор для автоматизованої системи керування вирощуванням монокристалів / В. В. Москаленко // Тези доповідей 3-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні системи в промисловості і освіті» – Суми : СумДУ. – 2011. – С. 41-44.

14. Москаленко В. В. Інформаційно-екстремальний алгоритм оцінки стану вузлів телекомунікаційної GRID-системи / А. С. Довбиш, В. В. Москаленко // Тези доповідей 22-ї Міжнародної Кримської конференції «Мікрохвильова техніка і телекомунікаційні технології». – Севастополь : Вебер. – Т.1. – 2012. – С. 415-416.

Здобувачем розроблено інформаційно-екстремальний алгоритм навчання і екзамену для класифікатора з гіпереліпсоїдними вирішальними правилами.

15. Москаленко В. В. Категорійна модель навчання інформаційно-екстремального гіпереліпсоїдного класифікатора / В. В. Москаленко // Матеріали VIII Міжнародної конференції «Стратегія якості у промисловості і освіті». – Дніпропетровськ-Варна : ТУ-Варна. – Т. 3. – 2012. – С. 459-460.

16. Москаленко В. В. Ієрархічний інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи підтримки прийняття рішень / В. В. Москаленко // Тези доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні системи та мережеві технології». – Київ : НАУ. – 2012. – С. 100.

17. Москаленко В. В. Гібридний алгоритм кластер-аналізу архівних даних вирощування сцинтиляційних монокристалів / В. В. Москаленко // Матеріали міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислюваного інтелекту». – Херсон : ХНТУ. – 2012. – С. 386-387.

АНОТАЦІЇ

Москаленко В.В. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень для автоматизації вирощування сцинтиляційних монокристалів із розплаву. – На правах рукопису.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2014.

Метою дисертаційної роботи є підвищення функціональної ефективності автоматизованої системи керування технологічним процесом (АСКТП) вирощування великогабаритних сцинтиляційних монокристалів із розплаву за умов апріорної невизначеності. В дисертаційній роботі розроблено інформаційно-екстремальні методи аналізу і синтезу здатної самонавчатися системи підтримки прийняття рішень (СППР), інтегрованої в АСКТП вирощування великогабаритних сцинтиляційних монокристалів із розплаву, що функціонує в режимі прогностичного класифікаційного керування. Створено комплекс категорійних моделей, інформаційні критерії оцінки функціональної ефективності та алгоритми лінійної та ієрархічної оптимізації параметрів навчання СППР з гіперсферичними та гіпереліпсоїдними вирішальними правилами. Запропоновано інформаційно-екстремальні методи кластер-аналізу, що дозволяє автоматизувати формування вхідного математичного опису СППР і побудувати чітке розбиття простору ознак на кластери, оптимізувати словник ознак розпізнавання. Розроблено структуру, функції та архітектуру програмного забезпечення інтелектуальної СППР для керування вирощуванням великогабаритних сцинтиляційних монокристалів із розплаву на установці типу «РОСТ».

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, класифікаційне керування, машинне навчання, оптимізація, прогнозування, критерій функціональної ефективності, технологічний процес, сцинтиляційний монокристал.

Москаленко В. В. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень для автоматизації вирощування сцинтиляційних монокристалів із розплаву. – На правах рукопису.

Диссертаційна робота на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управле-

ния. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2014.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи повышения функциональной эффективности автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП) выращивания крупногабаритных сцинтиляционных монокристаллов из расплава в условиях априорной неопределённости.

Выполнен аналитический обзор современных методов проектирования АСУТП выращивания крупногабаритных сцинтиляционных монокристаллов из расплава и установлено, что существующие системы управления, синтезированные традиционными методами теории автоматического управления, нечёткой логики и искусственных нейронных сетях, не являются эффективными при управлении слабоформализованными технологическими процессами, протекающими при произвольных начальных условиях и действии неконтролируемых возмущающих факторов. В работе показана необходимость разработки основ информационного анализа и синтеза интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР), интегрированной в АСУТП выращивания крупногабаритных сцинтиляционных монокристаллов из расплава, на основе идей и методов машинного обучения и распознавания образов.

Разработан информационно-экстремальный метод анализа и синтеза самообучающейся СППР, позволяющий строить безошибочные по обучающей многомерной матрице решающие правила путём оптимизации параметров функционирования, влияющих на функциональную эффективность СППР. Предложен комплекс логически связанных категорийных моделей СППР, функционирующей в режимах кластер-анализа входных данных, факторного кластер-анализа и оптимизации словаря признаков.

Разработаны информационно-экстремальные методы кластер-анализа входных данных с вложенными процедурами Густафсона-Кесселя и «смещения среднего» для бинарного пространства признаков распознавания и факторного кластер-анализа архивных данных мониторинга технологического процесса, что позволяет автоматизировать формирование входного математического описания СППР для управления технологическим процессом выращивания сцинтиляционных монокристаллов из расплава и построить чёткое разбиение пространства признаков на кластеры, идентичное ручному разбиению.

Разработаны информационно-экстремальные методы синтеза СППР с гиперэллипсоидным мультимодальным, с гиперсферическим унимодальным и иерархическим классификаторами, что позволяет построить безошибочные по обучающей матрице решающие правила.

Предложена модификация информационного критерия и на его основе разработан метод оценки функциональной эффективности обучения СППР с обучающими матрицами различных объёмов, что позволило увеличить достоверность унимодальных решающих правил.

На базе унимодального классификатора разработан алгоритм прогнозирования момента времени переобучения СППР для управления технологическим

процессом выращивания сцинтиляционных монокристаллов из расплава.

Разработаны функциональная структура и аппаратно-программное обеспечение СППР для управления технологическим процессом выращивания сцинтиляционных монокристаллов из расплава. Показано, что среднее отклонение диаметра монокристалла при использовании системы управления с интеллектуальным регулятором уменьшается вдвое по сравнению с существующей системой управления.

Результаты диссертации использованы в виде моделей, методов, алгоритмов и пакетов прикладных программ при проектировании самообучающейся СППР для управления технологическим процессом выращивания крупногабаритных сцинтиляционных монокристаллов из расплава по модифицированному методу Чохральского.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, классификационное управление, машинное обучение, оптимизация, прогнозирование, критерий функциональной эффективности, технологический процесс, сцинтиляционный монокристалл.

Moskalenko V. V. Intelligent decision support system for automation of scintillate single-crystals growth from the melt. – Manuscript copyright.

Thesis for Candidate Degree in Technical Sciences, Speciality 05.13.07 – Automation of control processes. – National Technical University «Kharkiv Politechnical Institute», 2014.

The thesis is dedicated to increase the functional efficiency of automated control systems (ACS) of technological processes of large scintillation single-crystals growth from the melt under a priori uncertainty. New information-extreme methods of analysis and synthesis self-learning decision support system (DSS) that is integrated into the ACS in a mode of predictive classifier-based control are developed. A set of categorical models, criteria of functional efficiency and algorithms of single-level and hierarchical optimization parameters of hyper-spherical and hyper-ellipsoidal decision rules are created. It is proposed information-extreme methods of cluster-analysis which allows to automate the formation of input mathematical description of DSS and to obtain an equivalence craps partition of features space into clusters with feature set optimization. Software architecture and implementation of intelligent DSS for growing large scintillation single-crystal from the melt is developed.

Keywords: decision support system, classifier-based control, machine learning, optimization, prediction, information criterion of functional efficiency, technological process, single-crystal.



Підписано до друку . .2014 р. Формат 60x84/16. Папір ксероксний
Обл. вид. арк. 0,9. Наклад 100 пр. Гарнітура Times New Roman Cyr.
Умовн.-друк. арк. 1,1. Замовлення №

Вид-во СумДУ. Свідоцтво ДК №3062 від 17.12.2007.
40007, м. Суми, вул. Римського Корсакова, 2.
Друкарня СумДУ, 40007, м. Суми, вул. Римського Корсакова, 2.