

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

ЗИМОВЕЦЬ ВІКТОРІЯ ІГОРІВНА

Зчч

УДК 681.518:004.93.1'

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ
ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ БАГАТОКАНАТНОЇ
ШАХТНОЇ ПІДЙОМНОЇ МАШИНИ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

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
Федорович Олег Євгенович,
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»,
завідувач кафедри інформаційних
управляючих систем;

доктор технічних наук, професор
Тимочко Олександр Іванович,
Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
професор кафедри бойового застосування
та експлуатації АСУ.

Захист відбудеться 21.04.2021 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий 15.03.2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Юрій ДОРОФЄЄВ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Система функціонального діагностування (СФД) дозволяє оцінювати поточний технічний стан вузлів і пристроїв складного електромеханічного обладнання, виявляти на ранній стадії дефекти та прогнозувати їх розвиток. Основним шляхом підвищення функціональної ефективності СФД є надання їй властивості адаптивності до умов експлуатації на основі машинного навчання та розпізнавання образів.

Дослідження, пов'язані з моделюванням інтелектуальних систем різного призначення у науково-технічній літературі знайшли відносно широке висвітлення завдяки ідеям та науковим здобуткам Івахненка О. Г., Шлезінгера М. І., Васильєва В. І., Кузьміна І. В., Бодянського Є. В., Субботіна С. О., Дуди Р., Харта П., Люгера Дж. Ф. та інших вчених. При цьому питання підвищення функціональної ефективності машинного навчання СФД все ще залишаються недостатньо дослідженими через науково-методологічні ускладнення, пов'язані з неповною визначеністю даних, суттєвим перетином класів розпізнавання в просторі діагностичних ознак та великою потужністю словника діагностичних ознак і алфавіту класів розпізнавання, які характеризують можливі технічні стани об'єкту діагностування. При цьому жорсткі вимоги висуваються щодо оперативності прийняття діагностичних рішень при функціонуванні в робочому режимі об'єктів критичного призначення, до категорії яких відноситься і багатоканатна шахтна підйомна машина (ШПМ). Тому однією із складних задач, на дослідження якої спрямована дисертаційна робота, є створення інтелектуальної інформаційної технології аналізу і синтезу СФД багатоканатної ШПМ. Розв'язання цієї задачі полягає в необхідності створення нових методів формування вхідного математичного опису, машинного навчання і оцінки його функціональної ефективності з метою побудови високодостовірних вирішальних правил, практично інваріантних до багатовимірності діагностичних даних.

Таким чином, необхідність розроблення моделей та методів інформаційної технології аналізу і синтезу здатної самонавчатися СФД багатоканатної ШПМ є актуальною задачею, розв'язання якої дозволить забезпечити високу достовірність та оперативність прийняття діагностичних рішень за умови невизначеності вхідних даних.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі комп'ютерних наук Сумського державного університету відповідно до плану науково-дослідних робіт за держбюджетними темами: «Методи та математичні моделі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій» (ДР № 0112U006083), «Методи, математичні моделі та інформаційні технології аналізу і синтезу інфокомунікаційних систем» (ДР № 0118U006971), в яких здобувачка була виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – підвищення точності функціонального діагностування багатоканатної ШПМ шляхом побудови в рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів високо-

достовірних і оперативних вирішальних правил, практично інваріантних до багатовимірності словника діагностичних ознак і алфавіту класів розпізнавання.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку інтелектуальних технологій інформаційного синтезу комп'ютеризованих систем діагностування складних електромеханічних машин і пристроїв;
- розробити модель та метод машинного навчання СФД багатоканатної ШПМ за ієрархічною структурою даних;
- розробити модель та метод кластер-аналізу діагностичних даних для формування вхідної нечітко класифікованої навчальної матриці;
- розробити моделі та метод функціонування СФД в режимі факторного кластер-аналізу;
- розробити модель та метод машинного навчання СФД багатоканатної ШПМ з оптимізацією багатоінтервальної системи контрольних допусків на діагностичні ознаки;
- розробити критерії оцінювання функціональної ефективності машинного навчання СФД;
- розробити засоби інформаційної технології аналізу і синтезу СФД багатоканатної ШПМ.

Об'єктом дослідження є процес машинного навчання СФД за умови неповної визначеності даних, обумовленої довільними початковими умовами технологічного циклу та перетином в просторі ознак класів розпізнавання, які характеризують технічний стан вузлів і пристроїв багатоканатної ШПМ.

Предмет дослідження складають моделі та методи інформаційної технології оцінювання функціональної ефективності та оптимізації параметрів машинного навчання СФД багатоканатної ШПМ.

Методи дослідження базуються на принципах і методах системного аналізу та інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу даних для побудови в процесі машинного навчання високодостовірних і оперативних вирішальних правил; методах теорії ймовірностей та математичної статистики для оцінки випадкових величин і перевірки статистичних гіпотез; методах та характеристиках теорії інформації для оцінки функціональної ефективності машинного навчання СФД; об'єктно-орієнтованій методології проектування складних систем для розробки інформаційного та програмного забезпечення СФД, що навчається.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено категорійні моделі і на їх основі створено метод інформаційно-екстремального машинного навчання за ієрархічною структурою даних, який функціонує в режимах кластер-аналізу, що дає можливість автоматично формувати вхідну навчальну матрицю факторного кластер-аналізу та перенавчати СФД при розширенні алфавіту класів розпізнавання;
- удосконалено модель та метод інформаційно-екстремального машинного навчання з оптимізацією багатоінтервальної системи контрольних допусків на діагностичні ознаки, яка на відміну від одноінтервальних двобічних та однобіч-

них допусків дозволяє збільшити мінімальну кодову відстань Хеммінга для структурованих двійкових векторів діагностичних ознак, що дозволяє підвищити точність розпізнавання;

– отримав подальшого розвитку метод оцінювання функціональної ефективності машинного навчання СФД з ієрархічною структурою даних на основі запропонованої модифікації інформаційного критерію оптимізації параметрів навчання, що дозволяє підвищити достовірність вирішальних правил.

Практичне значення отриманих результатів. На основі запропонованих моделей, методів та алгоритмів створено комплекс інструментальних засобів проектування СФД багатоканатної ШПМ, який включає модулі формування вхідного математичного опису, бази даних і знань, алгоритми інформаційно-екстремального машинного навчання і побудовані вирішальні правила, які дозволяють при функціонуванні системи в робочому режимі приймати оперативні діагностичні рішення з підвищеною точністю. Оскільки отримані за результатами інформаційно-екстремального машинного навчання вирішальні правила побудовано в рамках функціонального підходу до моделювання природного інтелекту, то вони характеризуються властивостями адаптивності до довільних початкових умов робочого циклу і гнучкості при перенавчанні СФД. Результати роботи можуть бути використані при інформаційному синтезі СФД широкого класу електромеханічного обладнання різного призначення.

Результати дослідження впроваджено в ТОВ «ULYS Systems» (м. Київ) при модернізації автоматизованої системи керування багатоканатною шахтною підйомною машиною на шахті «Героїв космосу» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» (акт впровадження від 15.01.2020 р.) і в навчальний процес Сумського державного університету (акт впровадження від 18.02.2020 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати дисертації одержано авторкою особисто, а саме: категорійні моделі та побудовані на їх основі методи, які функціонують в режимах кластер-аналізу і факторного кластер-аналізу інформаційно-екстремального машинного навчання з ієрархічною структурою даних; метод оцінювання функціональної ефективності машинного навчання СФД з ієрархічною структурою даних на основі запропонованої модифікації інформаційного критерію оптимізації параметрів навчання; модель та метод інформаційно-екстремального машинного навчання з оптимізацією багатомодальної системи контрольних допусків на значення діагностичних ознак, які на відміну від двобічних симетричних допусків враховують багатомодальність щільності розподілу ймовірності вхідних даних; елементи методу оцінювання функціональної ефективності інформаційно-екстремального машинного навчання системи функціонального діагностування.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідались на міжнародних наукових конференціях та форумах, а саме: «Фізика, електроніка, електротехніка» (Суми, 2014); «Advanced Information Systems and Technologies» (Суми, 2018); «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем» (Дніпро, 2018); «Наукові відкриття та фундаментальні наукові дослідження: світовий досвід» (Полтава, 2019); «Теоретичні та прик-

ладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій» (Тернопіль, 2019); «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» (Полтава, 2019), III International Scientific and Practical Conference «Science, society, education: topical issues and development prospect» (Харків, 2020).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 14 наукових працях, з них: 6 статей у наукових фахових виданнях України, індексованих у міжнародних наукометричних базах даних; одна стаття в закордонному журналі, який входить в базу даних Web of Science, 7 праць – тези доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 195 сторінок і містить 50 рисунків, 3 таблиці, список використаних джерел із 176 найменувань на 20 сторінках, 2 додатки на 5 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано її мету та завдання досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача, дані про апробацію і публікацію результатів дисертаційної роботи.

У першому розділі подано аналітичний огляд сучасного стану та тенденцій розвитку СФД та інтелектуальних технологій інформаційного аналізу даних. Показано, що використання нейроподібних структур та експертних систем не забезпечує гнучкість СФД до перенавчання та інваріантність до збільшення потужності словника діагностичних ознак і алфавіту класів розпізнавання. Застосування методів нечіткого подання та виведення знань слід визнати недоцільним, оскільки при функціональному діагностуванні в основному використовуються кількісні шкали виміру. Методи діагностування, побудовані на математичному апараті нечіткої логіки, багатовимірною статистичного аналізу та генетичних алгоритмів носять в основному модельний характер, оскільки не повністю враховують реальні умови експлуатації та перетин класів розпізнавання в просторі діагностичних ознак. Одним із перспективних шляхів аналізу та синтезу здатних навчатися СФД є використання ідей та методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) аналізу даних, яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи розпізнавання в процесі її машинного навчання. Головна перевага методів інформаційно-екстремального машинного навчання полягає в тому, що вони розробляються в рамках функціонального підходу до моделювання когнітивних процесів, притаманних людині при формуванні та прийнятті класифікаційних рішень.

У другому розділі розглянуто в рамках ІЕІ-технології питання інформаційного аналізу і синтезу здатної навчатися СФД багатоканатної ШПМ. Розглядається ієрархічна структура даних у вигляді дерева з донизу перехільним перенесенням атрибутів вершин. Таку ієрархічну структуру у вигляді спрямованого графа, в якому атрибут із вершини верхнього рівня передається у вершину нижнього рівня, запропоновано, на відміну від рекурсивної, називати декурсивною. Атрибутами вершин декурсивного дерева є класи розпізнавання, які утворюють алфавіт $\{X_{h,s,m}^o\}$, де h – порядковий номер ярусу, s – порядковий номер страти h -го ярусу і m – порядковий номер класу розпізнавання в s -й страті. При цьому матриця інциденції $A = \{a_{\pi,\zeta}\}$ визначається таким чином: $a_{\pi,\zeta} = 1$, якщо початок ребра ζ з'єднується з вершиною π і має напрям від вершини π ; $a_{\pi,\zeta} = -1$, якщо кінець (стрілка) ребра ζ з'єднується з іншою вершиною і має напрям від вершини π ; $a_{\pi,\zeta} = 0$, якщо початок ребра ζ не з'єднується з вершиною π ; $a_{\pi,\zeta} = *$, якщо початок ребра ζ з'єднується з вершиною π і має напрям від вершини π до вершини страти нижнього ярусу з однаковим атрибутом.

У роботі наведено лему: для декурсивного графа з ζ ребрами кількість стовпчиків матриці інциденцій, які мають нульову суму елементів, дорівнює $\zeta - \pi^*$, де π^* – кількість вершин, які передають свої ознаки.

Розглянемо формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу здатної навчатися СФД в рамках ІЕІ-технології. Нехай кожний клас розпізнавання характеризує можливий технічний стан вузлів і пристроїв багатоканатної ШПМ. Дано декурсивну ієрархічну структуру алфавіту класів розпізнавання $\{X_{h,s,m}^o \mid h = \overline{1, H}; s = \overline{1, S}; m = \overline{1, M}\}$, де H – кількість ярусів структури; S – кількість страт на h -му ярусі; M_s – кількість класів розпізнавання в s -й страті. За результатами моніторингу сигналів з датчиків інформації сформовано для кожної страти тривимірну навчальну матрицю $\|y_{m,i}^{(j)}\|, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, n}$, де N – кількість діагностичних ознак і n – кількість структурованих векторів ознак класів розпізнавання. Оскільки ІЕІ-технологія передбачає перетворення вхідної навчальної матриці в робочу бінарну матрицю, то задано структурований вектор параметрів машинного навчання СФД.

$$g_{h,s,m} = \langle x_{h,sm}, d_{h,s,m}, \delta_{h,s}, h \rangle, \quad (1)$$

де $x_{h,s,m}$ – двійковий усереднений вектор діагностичних ознак, вершина якого визначає геометричний центр гіперсферичного контейнеру класу розпізнавання $X_{h,s,m}^o$ в бінарному просторі ознак; $d_{h,s,m}$ – кодова відстань, яка визначає радіус гіперсферичного контейнера класу $X_{h,s,m}^o$; $\delta_{K,h,s,m,i}$ – параметр поля контрольних допусків i -ї діагностичної ознаки усередненої реалізації $x_{h,s,m}$ класу розпізнавання $X_{h,s,m}^o$; h – задана декурсивна ієрархічна структура алфавіту

класів розпізнавання, $h \in H'$, де H' – множина варіантів заданої ієрархічної декурсивної структури, побудованих шляхом перестановки класів розпізнавання.

Параметр $\delta_{K,h,s,m,i}$ дорівнює половині симетричного поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання та однобічному полю від номінального значення ознаки розпізнавання до його критичного значення. Двобічне симетричне та однобічне поле контрольних допусків через параметр δ відповідно визначається за формулами:

$$\delta'_{K,i} = \delta \frac{A_{B,i} - A_{H,i}}{2a}, \quad \delta''_{K,i} = \delta \frac{A_{kp,i} - A_{0,i}}{a}, \quad (2)$$

де a – кількість градацій контрольного поля допусків, яка для всіх діагностичних ознак є однаковою. З метою побудови високодостовірних вирішальних правил виконуються такі кроки:

1) на етапі машинного навчання СФД оптимізуються параметри вектора (1), які забезпечують максимальне значення інформаційного критерію оптимізації в робочій (допустимій) області визначення його функції:

$$\overline{E}_{\max}^{\{H\}} = \frac{1}{S_H} \sum_{s=1}^{S_H} E_{\max}^{(s)}, \quad (3)$$

де $E_{\max}^{(s)}$ – інформаційний критерій оптимізації параметрів машинного навчання СФД для s -ї страти фінального ярусу; S_H – кількість страт фінального ярусу;

2) на етапі екзамену приймається рішення про належність вектора ознак, що розпізнається, одному з класів сформованого алфавіту відповідної фінальної страти.

Категорійну модель інформаційно-екстремального ієрархічного машинного навчання СФД представлено у вигляді спрямованого графу (рис. 1).

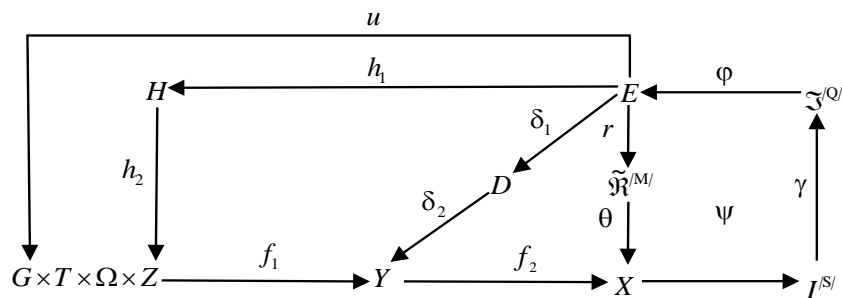


Рисунок 1 – Категорійна модель ієрархічного машинного навчання СФД

У категорійній моделі (рис. 1) джерелом інформації є декартовий добуток, який задає універсум випробувань:

$$W_{\text{ex}} = T \times G \times \Omega \times Z, \quad (4)$$

де G – простір вхідних сигналів (факторів); T – множина моментів часу зняття інформації; Ω – простір діагностичних ознак; Z – простір можливих технічних станів.

На рис. 1 оператор $r: E \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{M/I}$ буде на кожному кроці машинного на-

вчання розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$, яке відображається оператором θ на нечіткий розподіл класифікованих бінарних векторів діагностичних ознак. Далі оператор $\psi: X \rightarrow I^{|S|}$, де $I^{|S|}$ – множина гіпотез, перевіряє основну статистичну гіпотезу $\gamma_1 = x_m^{(j)} \in X_m^o$. Оператор γ визначає множину точнісних характеристик $\mathfrak{Z}^{|Q|}$, де $Q = S^2$, а оператор ϕ обчислює множину значень E інформаційного критерію оптимізації. Контур оптимізації контрольних допусків на діагностичні ознаки замикається через терм-множину D , елементами якої є значення системи контрольних допусків. Оператор u регламентує процес машинного навчання. Елементами множини H є варіанти заданої декурсивної ієрархічної структури, які відрізняються між собою розташуванням класів розпізнавання в стратах відповідних ярусів. На рис.1 оператор h_1 вибирає відповідний ярус і страту в заданій структурі H , тобто задає план машинного навчання, а оператор h_2 змінює простір технічних станів об'єкту діагностування, тобто змінює алфавіт класів розпізнавання.

Як критерій оптимізації параметрів машинного навчання СФД за ієрархічною структурою даних запропоновано модифіковану інформаційну міру Кульбака, яка для рівноймовірних двоальтернативних гіпотез має вигляд

$$E_{h,s,m}^{(k)} = \frac{1}{2} \{2 - [\alpha_{h,s,m}^{(k)}(d) + \beta_{h,s,m}^{(k)}(d)]\} \log_2 \frac{2 - [\alpha_{h,s,m}^{(k)}(d) + \beta_{h,s,m}^{(k)}(d)] + 10^{-r}}{\alpha_{h,s,m}^{(k)}(d) + \beta_{h,s,m}^{(k)}(d) + 10^{-r}}, \quad (5)$$

де $\alpha_{h,s,m}^{(k)}(d)$ – помилка першого роду при прийнятті класифікаційних рішень, обчислена в процесі відновлення гіперсферичного контейнера класу розпізнавання X_m^o ; $\beta_{h,s,m}^{(k)}(d)$ – помилка другого роду при прийнятті класифікаційних рішень, обчислена в процесі відновлення гіперсферичного контейнера класу розпізнавання X_m^o з радіусом d ; 10^{-r} – достатньо мале число, яке вводиться для уникнення поділу на нуль.

Нормований критерій оптимізації параметрів машинного навчання має вигляд

$$J_{h,s,m}^{(k)}(d) = \frac{E_{h,s,m}^{(k)}(d)}{E_{\max}}, \quad (6)$$

де E_{\max} – максимальне значення критерію (3), яке він приймає при підстановці

$$\alpha_{h,s,m}^{(k)}(d) = \beta_{h,s,m}^{(k)}(d) = 0. \quad (7)$$

Оскільки інформаційний критерій (5) є функціоналом від точнісних характеристик класифікаційних рішень і дистанційної міри близькості, то він може розглядатися як загальна міра валідності розбиття простору ознак на класи розпізнавання.

При функціонуванні СФД в режимі функціонального кластер-аналізу при збільшенні потужності алфавіту класів розпізнавання виникає необхідність оп-

тимізації нової ієрархічної структури даних. З цією метою в категорійній моделі (рис. 1) необхідно замість оператора h_1 використовувати оператор h'_1 , який цілеспрямовано розподіляє класи розпізнавання по стратах нової ієрархічної структури за умови забезпечення максимального значення інформаційного критерію оптимізації.

Іншою особливістю функціонування СФД є висока ступінь перетину класів розпізнавання в просторі діагностичних ознак. Для усунення цього недоліку удосконалено метод машинного навчання з використанням багатоінтервальної системи контрольних допусків на діагностичні ознаки, що на відміну від традиційних одноінтервальних допусків дозволяє розширити простір діагностичних ознак і цим збільшити міжкласову відстань. Категорійну модель машинного навчання СФД з оптимізацією багатоінтервальних контрольних допусків на діагностичні ознаки показано на рис 2.

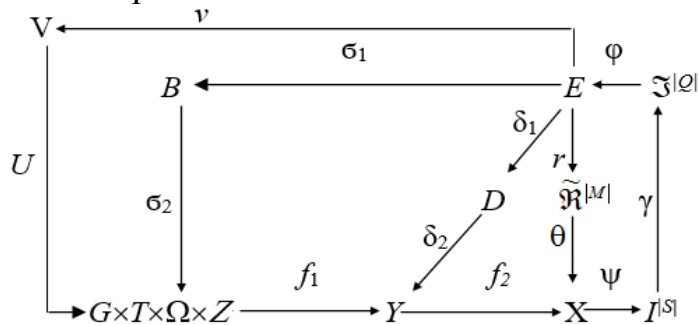


Рисунок 2 – Категорійна модель машинного навчання з оптимізацією багатоінтервальних контрольних допусків

Відмінність показаної на рис. 2 категорійної моделі від вище наведеної полягає в наявності контуру оптимізації, який замикається через терм-множину B – кількість інтервалів, на які поділяється поле контрольних допусків. При цьому оператор σ_1 послідовно змінює кількість інтервалів, а оператор σ_2 змінює простір діагностичних ознак шляхом кодування результату знаходження ознаки у відповідному інтервалі.

На практиці формування вхідної навчальної матриці в ручному режимі вимагає значних часових і матеріальних витрат. З метою автоматичного формування навчальної матриці запропоновано категорійну модель (рис. 3) інформаційно-екстремального машинного навчання з кластер-аналізом діагностичних ознак.

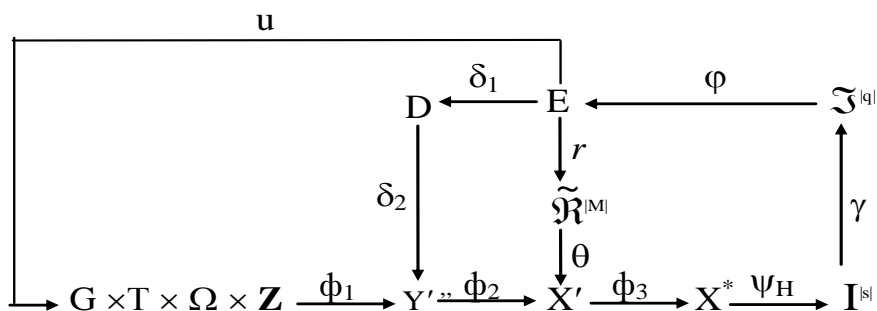


Рисунок 3 – Категорійна модель інформаційно-екстремального кластер-аналізу

На рис. 3 оператор ϕ_1 формує апріорно некласифіковану вхідну вибірку множини Y' . Оператор $\phi_2 : Y' \rightarrow X'$ перетворює шляхом кодування за рівнем системи контрольних допусків множини Y' в бінарну вибірку множини X' . Оператор ϕ_2 за процедурою k -середніх формує навчальну матрицю X^* із двійкових векторів ознак.

Ознаки, які знаходяться в контейнерах класів розпізнавання (рис. 3), що відновлюються в процесі машинного навчання в радіальному базисі простору діагностичних ознак. Процес формування вхідної класифікованої нечіткої бінарної матриці X^* здійснюється до моменту забезпечення її мінімального репрезентативного обсягу за умови, що значення інформаційного критерію не менше допустимого в робочій області визначення його функції.

Оскільки особливістю функціонального діагностування ШПМ є велика потужність алфавіту класів розпізнавання, то застосування відомих методів кластер-аналізу для формування навчальної матриці суттєво обмежено через їх чутливість до багатовимірності. Тому запропоновано категорійну модель (рис. 4) машинного навчання в режимі ФКА, що дозволило СФД автоматично перенавчатися при збільшенні потужності алфавіту класів розпізнавання. Ідею ФКА реалізовано шляхом формування додаткової навчальної матриці із некласифікованих реалізацій. При досягненні репрезентативного обсягу додаткова матриця приєднується до вхідної навчальної матриці і автоматично здійснюється перенавчання системи. Запропонований метод дозволяє здійснювати ФКА і у загальному випадку при наявності некласифікованих реалізацій декількох класів розпізнавання, що може мати місце при функціонуванні СФД в робочому режимі. У цьому випадку формуються додаткові навчальні матриці відповідних класів розпізнавання за агломеративним методом кластер-аналізу. Особливість моделі (рис. 4) полягає в наявності паралельних контурів машинного навчання і екзамену. Контур екзамену складається з оператора ψ'_E , який формує множини вирішальних правил F , і оператора ψ''_E , який ідентифікує реалізацію, що розпізнається, шляхом вибору відповідної гіпотези із множини F , де гіпотеза γ_{M+1} визначає некласифіковану подію.

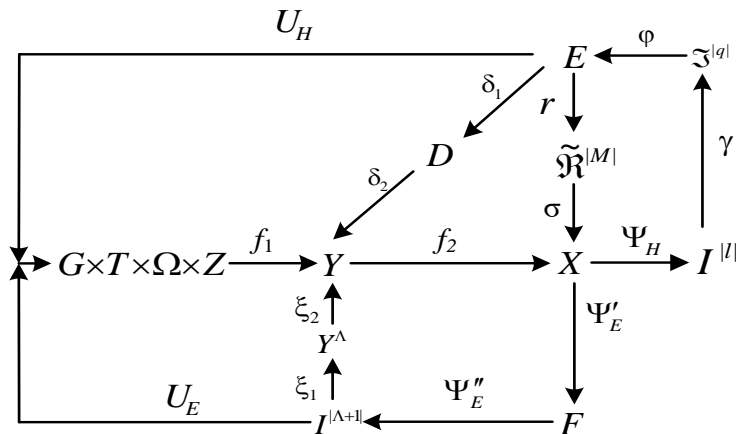


Рисунок 4 – Категорійна модель інформаційно-екстремального ФКА

Запропоновані категорійні моделі розглядаються як узагальнені структурні схеми алгоритмів інформаційно-екстремального машинного навчання. Згідно з принципом відкладених рішень Івахненка О. Г. для максимізації інформаційної спроможності системи може бути необхідною оптимізація інших параметрів, які впливають на функціональну ефективність машинного навчання.

У цьому випадку категорійна модель буде мати додаткові контури оптимізації цих параметрів. Крім того, згідно з принципом повної композиції контури оптимізації повинні мати загальну терм-множину E , елементи якої обчислюються на кожному кроці машинного навчання.

Варто підкреслити перспективність використання саме категорійних моделей, оскільки вони суттєво спрощують формалізацію задачі інформаційного синтезу інтелектуальних систем різного призначення через використання уніфікованих операторів і множин, задіяних в процесі машинного навчання.

У **третьому розділі** розроблено та програмно реалізовано інформаційні технології інформаційно-екстремального машинного навчання СФД багатоканатної ШПМ та досліджено вплив параметрів оптимізації на функціональну ефективність машинного навчання. Реалізація алгоритму машинного навчання здійснювалася за некласифікованою навчальною матрицею, отриманою за результатами моніторингу технологічного процесу згідно тахограми на всіх циклах роботи багатоканатної ШПМ. Навчальна матриця була сформована за архівними даними, наданими підприємством «ULYS Systems», яке займається модернізацією автоматизованої системи керування ШПМ в «ДТЕК Павлоградвугілля» на шахті «Героїв космосу» (м. Павлоград, Україна). Для наочності діагностування здійснювалося для чотирьох класів розпізнавання: клас X_1^o характеризував функціональний стан електроприводу «Норма», клас X_2^o – стан підвищеної температури обмотки статора електродвигуна, клас X_3^o – стан тормозних колодок «Норма» і клас X_4^o – радіуси канавок канатоведучих шківів, які відповідали функціональному стану «Більше норми». Кожний рядок навчальної матриці мав 62 структуровані діагностичні ознаки, які характеризували електричні, температурні та механічні характеристики вузлів ШПМ, у тому числі враховувалася і різниця натягів головних канатів. Спочатку було реалізовано лінійний алгоритм інформаційно-екстремального машинного навчання СФД з паралельною оптимізацією діагностичних ознак, при якому на кожному кроці навчання контрольні допуски для всіх ознак змінювалися одночасно. У результаті після проведення паралельної оптимізації контрольних допусків максимальне значення усередненого критерію дорівнювало $\bar{E}^* = 0,63$ при оптимальному значенні параметра поля допусків \bar{P}_t (у відсотках від номінальних значень діагностичних ознак, тобто $a = 100$). З метою підвищення функціональної ефективності машинного навчання було реалізовано інформаційно-екстремальне машинне навчання СФД за декурсивною ієрархічною структурою даних. При цьому в процесі машинного навчання здійснювалася оптимізація ієрархічних структур. Для наочності розглядалися показані на рис. 5 три варіанти структур

даних для заданого алфавіту класів розпізнавання.

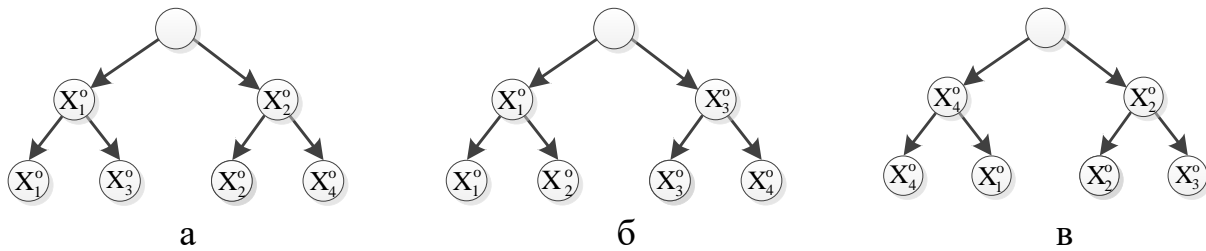


Рисунок 5 – Варіанти ієрархічних структур даних

Алгоритм ієрархічного навчання СФД представлено у вигляді процедури пошуку глобального максимуму усередненого за алфавітом $\{X_m^o\}$ критерію (5).

$$\delta_{K,h,s}^* = \arg \max_{G_{\delta,h,s}} \{ \max_{G_E \cap G_d} \bar{E}_{h,s}(d) \}, \quad (8)$$

де $G_{\delta,h,s}$ – область допустимих значень параметра $\delta_{K,h,s}$ для s -ї страти h -го ярусу ієрархічної структури.

В табл. 1 наведено результати машинного навчання СФД для кожної із показаних на рис. 5 структур даних.

Таблиця 1 – Результати оптимізації ієрархічних структур даних

№ структури	\bar{J}_{\max}	$\bar{\alpha}(d)$	$\bar{\beta}(d)$	\bar{P}_t
1	0,73	0,16	0,04	0,89
2	0,69	0,36	0,12	0,76
3	0,67	0,40	0,16	0,72

У табл. 1 прийнято такі позначення: \bar{J}_{\max} – усереднене за фінальними стратами структури даних (рис. 5) значення нормованого критерію (4); $\bar{\alpha}(d)$, $\bar{\beta}(d)$ – усереднені значення помилок першого і другого роду відповідно; \bar{P}_t – усереднене значення повної ймовірності прийняття правильних класифікаційних рішень. З аналізу табл. 1 витікає, що оптимальною є структура, показана на рис. 5, а.

На рис. 6, де штриховкою позначено робочу область визначення функції інформаційного критерію, показано графіки залежності усередненого критерію (4) від параметрів поля контрольних допусків для класів розпізнавання першої та другої фінальних страт (рис. 5, а), отримані в процесі навчання за алгоритмом (5). Аналіз рис. 6 показує, що максимальне значення інформаційного критерію дорівнює $\bar{E}^* = 0,68$, а для другої фінальної страти $\bar{E}^* = 0,78$. При цьому оптимальні значення параметра поля контрольних допусків дорівнювали відповідно $\delta_1^* = 32$ і $\delta_2^* = 34$ (у відсотках відхилення від номінального значення ознак діагностування).

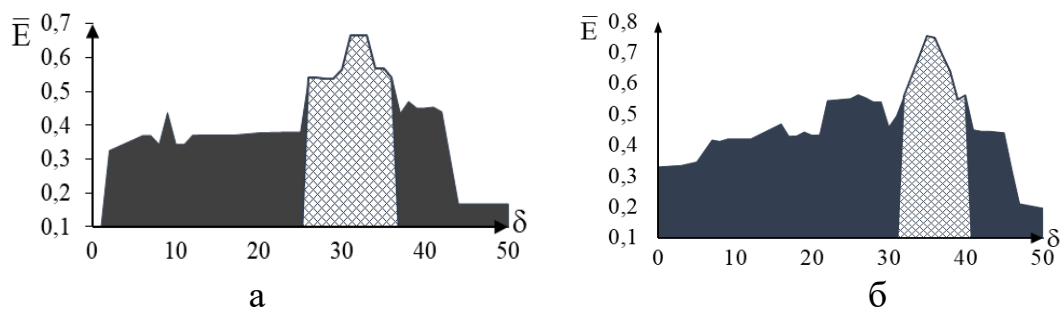


Рисунок 6 – Графіки залежності інформаційного критерію від параметра поля контрольних допусків: *a* – класи розпізнавання першої страти X_1^o і X_3^o ; *б* – класи розпізнавання другої страти X_2^o і X_4^o

На рис. 7 показано графіки залежності інформаційного критерію (4) від радіусів контейнерів класів розпізнавання.

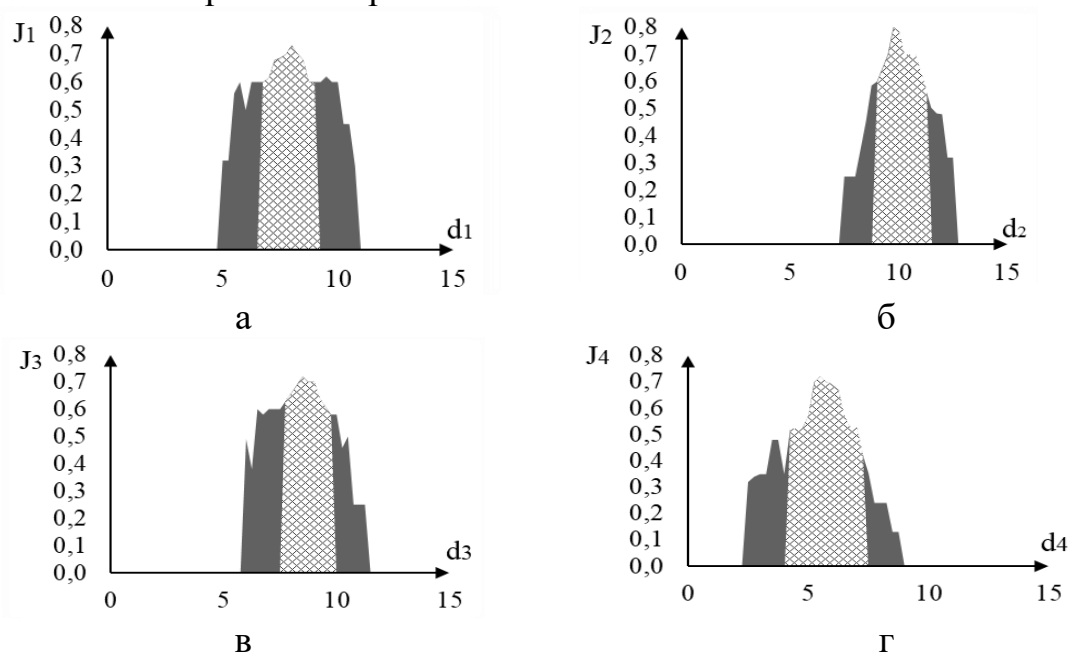


Рисунок 7 – Графіки залежності інформаційного критерію від радіусів контейнерів класів розпізнавання: *a* – клас X_1^o ; *б* – клас X_2^o ; *в* – клас X_3^o ; *г* – клас X_4^o

За оптимальними геометричними параметрами гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання побудовано вирішальні правила, які в предикатній формі мають вигляд

$$\begin{aligned}
 & (\forall X_{m,h,s}^o \in \mathfrak{R}^{|M|}) (\forall x^{(j)} \in \mathfrak{R}^{|M|}) \{ \text{if } [(\mu_m > 0) \ \& \ (\mu_m = \max_{\{m\}} \{\mu_m \mid m = \overline{1, M}\})] \\
 & \text{then } x^{(j)} \in X_{m,h,s}^o \text{ else } x^{(j)} \in X_{m,h,s}^o \}, \quad (9)
 \end{aligned}$$

де $x^{(j)}$ – вектор ознак, який розпізнається; μ_m – функція належності вектора $x^{(j)}$ класу розпізнавання $X_{m,h,s}^o$, яка визначається за формулою

$$\mu_m = 1 - \frac{d(x^{(j)} \oplus x_{h,s,m}^*)}{d_{h,s,m}^*}. \quad (10)$$

За вирішальними правилами (9) вектор ознак $x^{(j)}$ відноситься до того класу із заданого алфавіту відповідної страти, для якого функція належності (10) є додатною і максимальною. Крім того, побудовані в рамках геометричного підходу вирішальні правила (9) дозволяють приймати діагностичні рішення в режимі реального часу, що є актуальним при функціональному діагностуванні.

За результатами тестування системи в режимі екзамену усереднена за алфавітом класів розпізнавання повна ймовірність правильного прийняття діагностичних рішень дорівнювала $\bar{P}_t = 0,89$, тобто вирішальні правила за навчальною матрицею були не безпомилковими.

Для підвищення повної ймовірності правильної класифікації шляхом збільшення міжкласової відстані розроблено та програмно реалізовано згідно з категорійною моделлю (рис. 2) алгоритм машинного навчання СФД з багатокласовою системою контрольних допусків. При цьому попередньо було штучно збільшено середню міжкласову відстань шляхом надлишкового кодування двійкових векторів-реалізацій робочої навчальної матриці за циклічним методом. На рис. 8 показано графіки залежності критерію (4) від радіусів контейнерів класів розпізнавання. Аналіз рис. 8 показує, що вже при трьохінтервальній системі контрольних допусків максимальне усереднене значення інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання досягає свого граничного значення і дорівнює $\bar{E}^* = 1$.

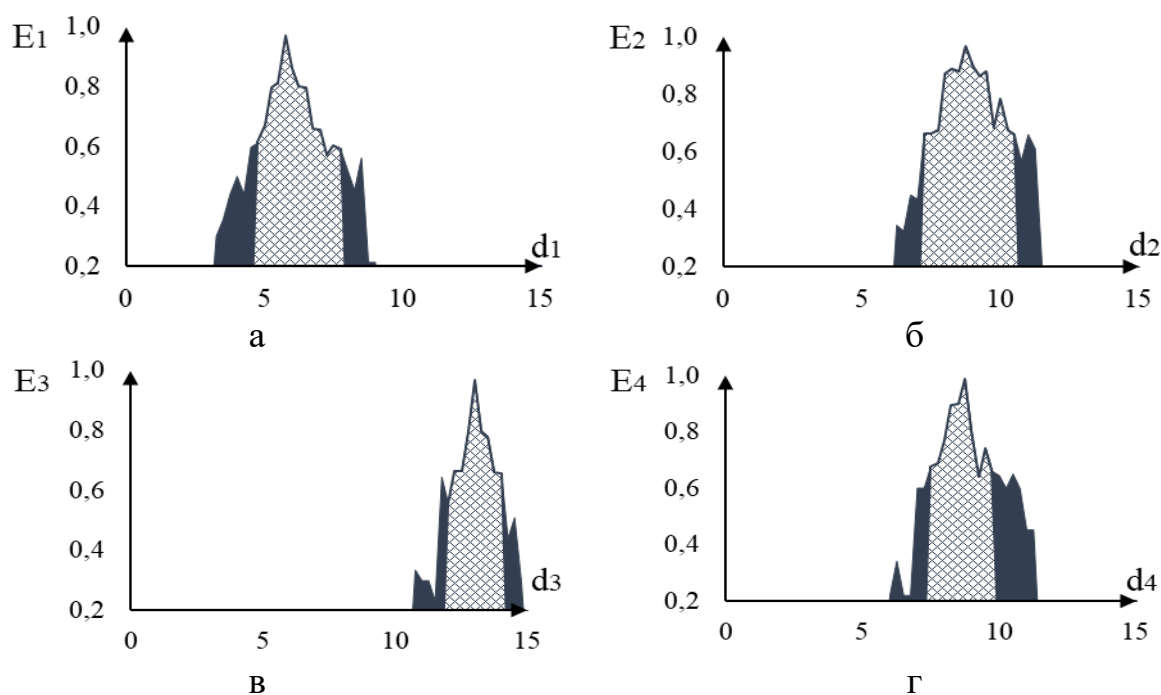


Рисунок 8 – Графіки залежності критерію оптимізації від радіусів контейнерів класів розпізнавання: a – клас X_1^o ; $б$ – клас X_2^o ; $в$ – клас X_3^o ; $г$ – клас X_4^o

При цьому оптимальні значення радіусів відповідних контейнерів класів розпізнавання дорівнюють в кодових одиницях відповідно $d_1^* = 7$, $d_2^* = 8$, $d_3^* = 14$ і $d_4^* = 9$. Таким чином, за результатами фізичного моделювання підтверджено працездатність та надійність розробленого інформаційного, алгоритмічного та програмного забезпечення СФД багатоканатної ШПМ, що самонавчається.

У четвертому розділі розроблено концептуальну, функціональну та структурну схеми інтелектуальної СФД багатоканатної ШПМ, яка здатна самонавчатися в режимах кластер-аналізу і ФКА, розглянуто функціонування СФД в режимі екзамену та засоби інформаційної технології інформаційно-екстремального машинного навчання. На рис. 9 показано три необхідні компоненти СФД як системи підтримки прийняття рішень.

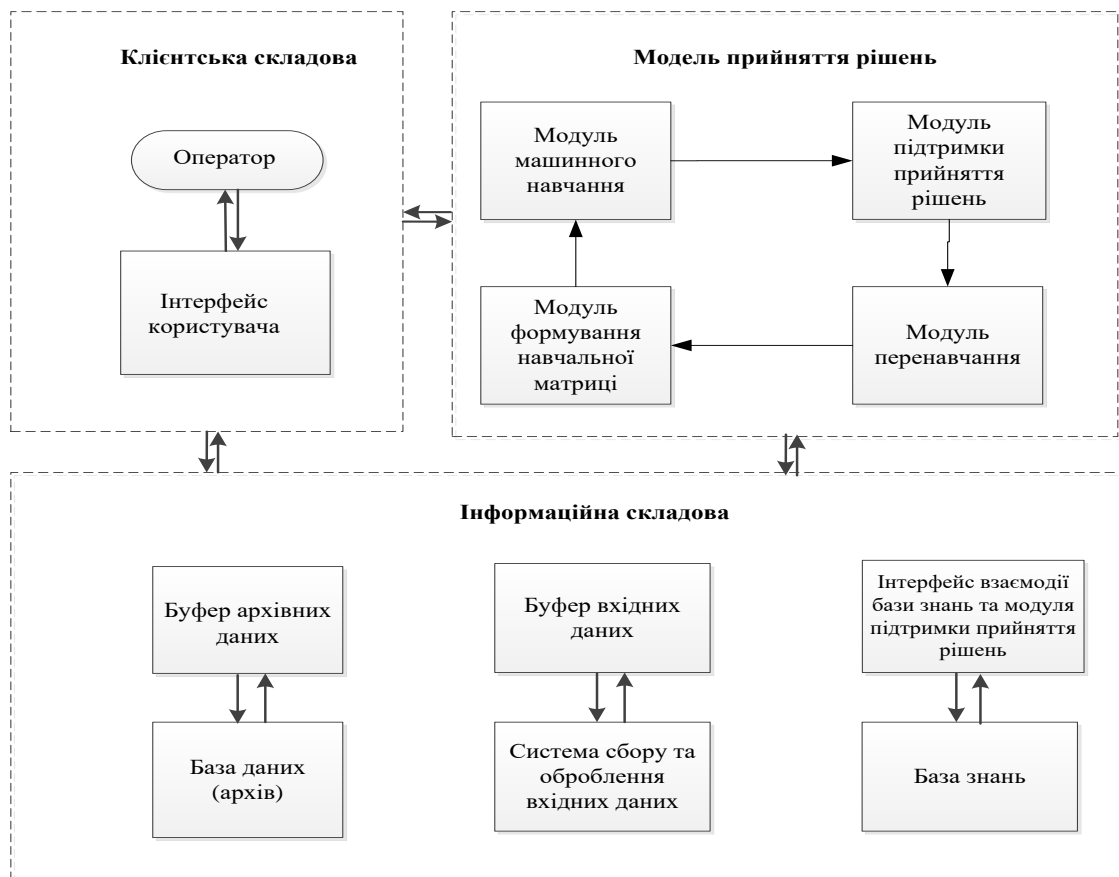


Рисунок 9 – Компоненти інтелектуальної СФД

Показаний на рис. 9 інтерфейс взаємодії бази знань з модулем підтримки прийняття рішень дозволяє оновлювати вирішальні правила та виконувати перенавчання системи. Інтелектуальний редактор бази знань дає можливість оператору формувати базу знань в діалоговому режимі.

На рис. 10 показано сторінку машинного навчання на графічному інтерфейсі оператора СФД. Графічний інтерфейс СФД в режимі екзамену показано на рис. 11.

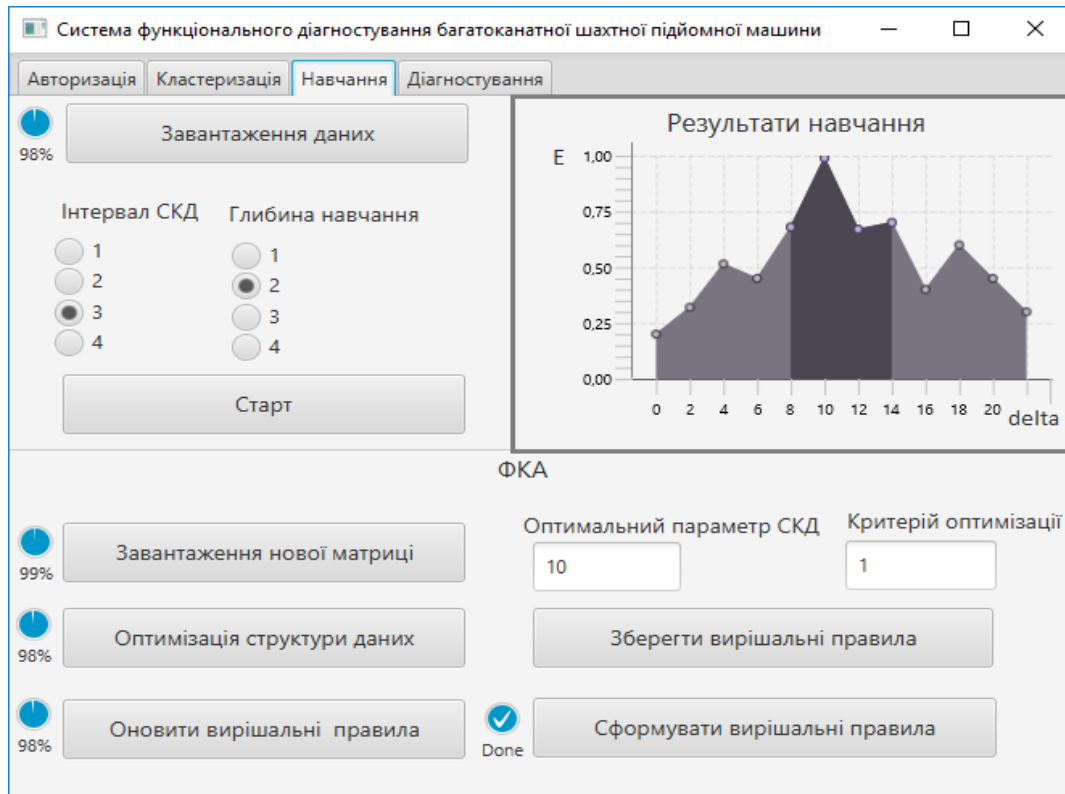


Рисунок 10 – Графічний інтерфейс користувача в режимі машинного навчання СФД

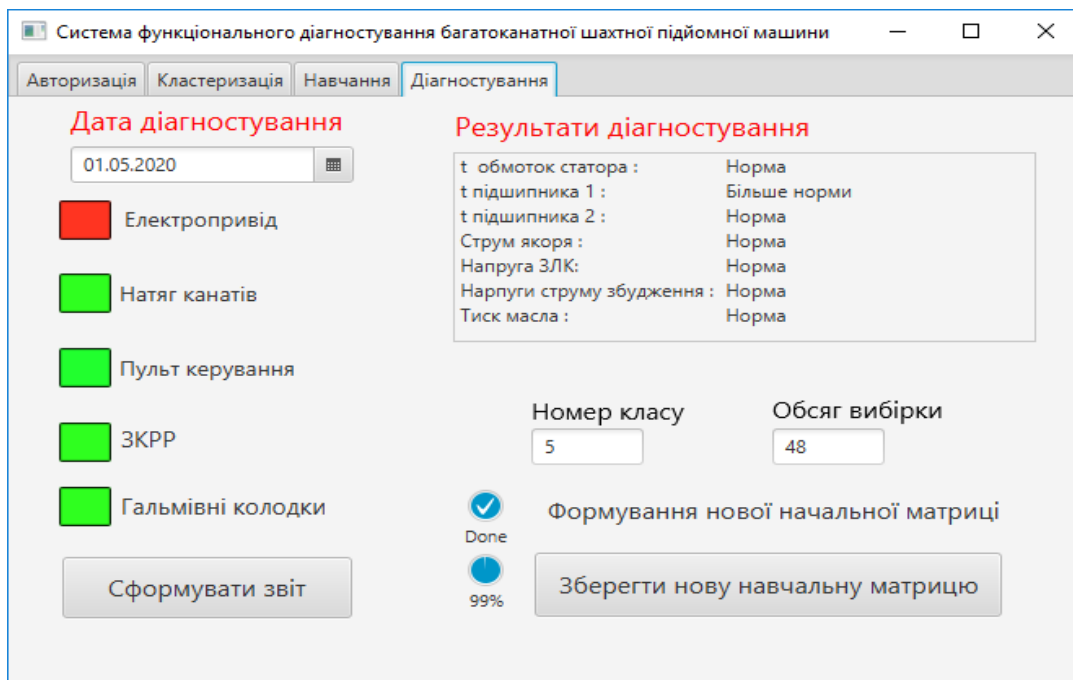


Рисунок 11 – Графічний інтерфейс СФД багатоканатної ШПМ в режимі екзамену

Створений програмний інструментарій з використанням шаблонів проектування та мови програмування Java забезпечує для здатної самонавчатися СФД кросплатформенність, зменшення витрат на розробку, супроводження та функціональне масштабування.

Після завантаження, сформована в режимі екзамену, додаткова навчальна матриця додається до вхідної навчальної матриці і запускається режим перенавчання СФД. За результатами перенавчання будуються нові вирішальні правила, які здатні розпізнавати вектори діагностичних ознак класів розпізнавання із розширеного алфавіту.

Розроблена в дисертаційній роботі інформаційна технологія та її засоби дозволяють здійснити в рамках ІЕІ-технології інформаційний синтез СФД багатоканатної ШПМ, наділеної властивостями самонавчання, адаптації до довільних початкових умов робочого циклу, інваріантності до багатовимірності словника діагностичних ознак і алфавіту класів розпізнавання та перенавчання за умови збільшення потужності алфавіту класів розпізнавання.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-практичну задачу підвищення функціональної ефективності інформаційної СФД багатоканатної ШПМ. У ході виконання дисертаційної роботи отримано наступні результати.

1. Проаналізовано сучасний стан розвитку систем функціонального діагностування електромеханічних комплексів та їх вузлів і пристроїв, які експлуатуються за умов неповної визначеності, і встановлено, що основною тенденцією їх подальшого розвитку є створення та застосування інтелектуальних інформаційних технологій на основі машинного навчання та теорії розпізнавання образів. За результатами аналітичного огляду праць попередників і аналізу динамічного процесу багатоканатної шахтної підйомної машини обґрунтовано вибір методу досліджень в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу даних, яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи функціонального діагностування, що навчається.

2. Вперше розроблено категорійні моделі і на їх основі методи інформаційно-екстремального машинного навчання СФД багатоканатної ШПМ за ієрархічною структурою даних, яка функціонує в режимах кластер-аналізу, що дозволяє автоматично формувати вхідну класифіковану нечітку навчальну матрицю, і ФКА, що дозволяє автоматично перенавчати систему функціонального діагностування при розширенні алфавіту класів розпізнавання.

3. Вперше розроблено метод оцінювання функціональної ефективності інформаційно-екстремального машинного навчання СФД багатоканатної ШПМ з ієрархічною структурою даних на основі запропонованої модифікації інформаційного критерію оптимізації параметрів машинного навчання, що дозволяє підвищити достовірність вирішальних правил.

4. Удосконалено модель та метод інформаційно-екстремального машинного навчання з оптимізацією багатоінтервальної системи контрольних допусків на значення діагностичних ознак, яка на відміну від двобічних та одnobічних допусків дозволяє збільшити мінімальну кодову відстань Хеммінга для структурованих двійкових векторів діагностичних ознак і згідно з максималь-

но-дистанційним принципом теорії розпізнавання образів підвищити повну ймовірність прийняття правильних діагностичних рішень.

5. Розроблено засоби технології інформаційного синтезу здатної навчатися системи функціонального діагностування багатоканатної ШПМ за умови неповної визначеності даних та нечіткої компактності реалізацій класів розпізнавання, що дозволило за результатами ієрархічного машинного навчання побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила, які дозволяють в робочому режимі приймати високоточні діагностичні рішення в режимі реального часу.

6. Основні наукові результати впроваджено у вигляді інформаційної технології, яка включає категорійні моделі, методи, критерії оцінки функціональної ефективності, алгоритми оптимізації і програмне забезпечення при модернізації системи функціонального діагностування багатоканатної шахтної підйомної машини в ТОВ «ULYS Systems» (м. Київ) і в навчальний процес Сумського державного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Зимовець В. І., Марищенко О. І., Чирва А. С. Система функціонального контролю привода шахтної підйомної установки, здатна навчатися. *Журнал інженерних наук*. Суми, 2016. Т. 3. № 2. С. Н15–Н19.

Здобувачка розробила вхідний математичний опис та алгоритм машинного навчання системи функціонального діагностування.

2. Довбиш А. С., Зимовець В. І., Козлов З. С. Інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи функціонального контролю електроприводу шахтної підйомної машини. *Радіоелектроніка та інформатика*. Харків, 2017. № 4. С. 58–63.

Здобувачкою розроблено алгоритм машинного навчання з паралельною оптимізацією контрольних допусків на діагностичні ознаки.

3. Dovbysh A. S., Velykodnyi D. V., Protsenko O. B., Zimovets V. I. Optimization of parameters of machine learning of the system of functional diagnostics of the electric drive of a shaft lifting machine. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. Запоріжжя, 2018. № 2 (45). С. 44–50.

Здобувачкою програмно реалізовано алгоритм машинного навчання з паралельно-послідовною оптимізацією допусків на діагностичні ознаки.

4. Довбиш А. С., Зимовець В. І., Бібик М. В. Оптимізація ієрархічної структури даних інтелектуальної системи функціонального діагностування технічного стану складної машини. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Харків, 2018. № 44 (1320). С. 42–49.

Здобувачкою синтезовано категорійну модель машинного навчання системи функціонального діагностування з оптимізацією структури даних.

5. Довбиш А. С., Зимовець В. І., Зубань Ю. А., Приходченко А. С. Машинное обучение системы функционального диагностирования шахтной подь-

емной машины. *Проблемы региональной энергетики*. Кишинев : Институт энергетики, 2019. № 2 (43). С. 88–102.

Здобувачка розробила категорійну модель алгоритму машинного навчання системи функціонального діагностування з ієрархічною структурою класів.

6. Зимовець В. І., Приходченко О. С., Мироненко М. І. Інформаційно-екстремальний кластер-аналіз вхідних даних при функціональному діагностуванні. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. Харків, 2019. № 4. С. 105–115.

Здобувачці належить категорійна модель машинного навчання, яка функціонує в режимі кластер-аналізу вхідних даних.

7. Зимовець В. І., Калашникова Н. І., Олада Д. Є., Шаматрин С. В. Система функціонального діагностування багатоканатної шахтної підйомної машини, що працює в режимі факторного кластер-аналізу. *Журнал інженерних наук*. Суми, 2020. Т. 7, вип. 1. С. 45–54.

Здобувачка розробила категорійну модель машинного навчання, яка функціонує в режимі факторного кластер-аналізу.

8. Кулик І. А., Зимовець В. І. Система управління електроприводом шахти "Скіпова" об'єднання "Казцинк". *Фізика, електроніка, електротехніка* : матеріали науково-технічної конф., м. Суми, 21-26 квітня 2014 р. Суми, 2014. С. 195.

Здобувачкою досліджено системи функціонального діагностування електроприводу багатоканатної шахтної підйомної машини

9. Dovbysh A. S., Zimovets V. I. Hierarchical algorithm of the machine learning for the system of functional diagnostics of the electric drive. *Advanced information systems and technologies* : proceedings of the VI International scientific conference, Sumy, May 16-18, 2018. Sumy, 2018. P. 85–88.

Здобувачкою створено алгоритм ієрархічного машинного навчання системи функціонального діагностування електроприводу ШПМ.

10. Зимовець В. І., Довбиш А. С., Бібик М. В. Кластер-аналіз вхідних даних при функціональному діагностуванні складних машин. *Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем* : матеріали IV Міжнародної науково-технічної конф., м. Дніпро, 1-2 листопада 2018 р. Дніпро, 2018. С. 426–429.

Здобувачці належить постановка формалізованої задачі інформаційного синтезу здатної навчатися системи функціонального діагностування.

11. Зимовець В. І. Функціональне діагностування електроприводу шахтної підйомної машини в режимі кластер-аналізу. *Наукові відкриття та фундаментальні наукові дослідження: світовий досвід* : зб. наук. праць «ЛОГОΣ» з матеріалами міжнар. наук.-практ. конф., м. Полтава, 20 травня 2019 р. Полтава, 2019. Т. 5. С. 72–74.

12. Зимовець В. І. Категорійна модель інформаційно-екстремального факторного кластер-аналізу діагностичних даних. *Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп'ютерних технологій* : матеріали IV Міжнародної науково-технічної конф., м. Тернопіль, 20-21 червня 2019 р. Тернопіль, 2019. С. 183–184.

13. Зимовець В. І. Інформаційно-екстремальне машинне самонавчання системи функціонального діагностування. *Сучасні методи, інформаційне, про-*

грамне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали VI Міжнар. наук.-техн. Internet-конф., м. Полтава, 20 листопада 2019 р. Полтава, 2019. С. 121–122.

14. Зимовець В. І. Інформаційно-екстремальне машинне навчання при багатоінтервальної системі контрольних допусків на ознаки розпізнавання «*Science, society, education: topical issues and development prospects*» : матеріали III Міжнародної науково-практичної конф., м. Харків, 17-18 лютого 2020 р. Харків, 2020. С. 96–101.

АНОТАЦІЇ

Зимовець В. І. Моделі та методи інформаційної технології функціонального діагностування багатоканатної шахтної підйомної машини. На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2020.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню функціональної ефективності системи функціонального діагностування багатоканатної шахтної підйомної машини шляхом створення інформаційної технології машинного навчання. У роботі поставлене та вирішене актуальне науково-прикладне завдання розроблення інформаційної інтелектуальної технології інформаційного синтезу здатної навчатися системи функціонального діагностування багатоканатної шахтної підйомної машини за умови неповної визначеності даних в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології аналізу даних. Як критерій оптимізації параметрів машинного навчання запропоновано модифіковану міру Кульбака у вигляді функціоналу від точнісних характеристик класифікаційних рішень. На основі запропонованих та розроблених категорійних моделей, методів та алгоритмів створено комплекс інструментальних засобів для інформаційного синтезу системи функціонального діагностування багатоканатної шахтної підйомної машини, який включає модулі формування вхідного математичного опису системи, бази даних і знань, алгоритми інформаційно-екстремального машинного навчання і побудовані за результатами машинного навчання вирішальні правила, які дозволяють при функціонуванні системи в робочому режимі приймати високодостовірні оперативні діагностичні рішення.

Ключові слова: інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія, система функціонального діагностування, машинне навчання, категорійна модель, інформаційний критерій, кластер-аналіз, багатоканатна шахтна підйомна машина.

Зимовець В. И. Модели и методы информационной технологии функциональной диагностики многоканатной шахтной подъемной машины. На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный

технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2020.

Диссертационная работа посвящена повышению функциональной эффективности системы функционального диагностирования многоканатной шахтной подъемной машины путем создания информационной технологии машинного обучения. В работе в рамках информационно-экстремальной интеллектуальной технологии анализа данных решена важная научно-прикладная задача разработки информационной интеллектуальной технологии информационного синтеза обучающейся системы функционального диагностирования многоканатной шахтной подъемной машины при неполной определенности входных данных. В качестве критерия оптимизации параметров иерархического машинного обучения СФД предложена модифицированная информационная мера Кульбака в виде функционала от точностных характеристик классификационных решений. На основе предложенных и разработанных моделей, методов и алгоритмов создан комплекс инструментальных средств для информационного синтеза системы функционального диагностирования многоканатной шахтной подъемной машины. Эта система включает модули формирования входного математического описания системы, базы данных и знаний, алгоритмы информационно-экстремального машинного обучения и решающие правила, которые позволяют при функционировании системы в рабочем режиме принимать высокоточные оперативные диагностические решения.

Ключевые слова: информационно-экстремальная интеллектуальная технология, система функционального диагностирования, машинное обучение, категориальная модель, информационный критерий, кластер-анализ, многоканатная шахтная подъемная машина.

Zimovets V. I. Models, methods and information technology of functional diagnostics of multichannel mine lifting machine. Manuscript.

Thesis for a Candidate of Science Degree in specialty 05.13.06 "Information Technologies", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2020.

The dissertation is devoted to increase of functional efficiency of the system of functional diagnostics of a multichannel mine lifting machine by creation of information technology of machine learning. The object of the study is a poorly formalized machine learning process of functional diagnostics system with incomplete data definiteness caused by arbitrary initial conditions of technological cycle and intersection in the space of features of recognition classes that characterize the technical condition of nodes and devices of a multi-wire mine machine. The subject of research are models and methods of information technology of functional efficiency estimation and optimization of parameters capable of learning the system of functional diagnostics of multi-wire mine lifting machine.

Keywords: information-extreme intellectual technology, system of functional diagnostics, machine learning, categorical model, information criterion, cluster analysis, multichannel mine lifting machine.

ЗЧМ

Підписано до друку 18.01.2021 р.
Формат 60x90/16. Умовн. друк. арк. 1,1
Тираж 100 пр. Зам. № 25

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи Серія ДК № 3062 від 17.12.2007
