

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ШЕЛЕХОВ Ігор Володимирович

УДК 681.518

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА СКЛАДНИХ
МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інформатики Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Довбиш Анатолій Степанович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри інформатики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кошовий Микола Дмитрович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут», завідувач кафедри авіаційних приладів
та вимірювань

кандидат технічних наук, доцент
Бобух Анатолій Олексійович,
Харківська національна академія міського
господарства, доцент кафедри
теплохладопостачання

Захист відбудеться « 14 » жовтня 2010 р. о 14 : 30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

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

Автореферат розісланий « 10 » вересня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В. П. Северин

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із перспективних напрямів автоматизації керованих технологічних процесів в хімічній, металургійній, харчовій та інших галузях, що протікають за умов апріорної невизначеності, є розробка та удосконалення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР) у складі автоматизованої системи керування (АСК) на основі самонавчання та розпізнавання образів. При цьому застосування сучасних засобів автоматизації для таких технологічних процесів виявляється недостатньо ефективним як через їх довільні початкові умови, так і часові затримки результатів хімічного аналізу, що ускладнює організацію неперервного вхідного контролю сировини та матеріалів природного походження.

Принципи та методи прийняття рішень при керуванні складними організаційно-технічними об'єктами і комплексами досліджено в працях В. І. Костюка, В. І. Скуріхіна, І. В. Кузьміна, О. А. Павлова, А. П. Ладанюка, М. Д. Кошового, Є. В. Бодянського, А. С. Довбиша та інших вчених. Проте питання підвищення функціональної ефективності інтелектуальних СППР, що керують складними технологічними процесами за довільних початкових умов, все ще залишаються недостатньо дослідженими. При цьому нерозв'язаною залишається одна із важливих задач синтезу здатних самонавчатися СППР, яка пов'язана з оцінкою інформативності технологічних параметрів, що формують словник ознак. Так само, мало дослідженим є специфічне для класифікаційного керування питання, пов'язане з вивченням особливостей функціонування СППР у режимі факторного кластер-аналізу (ФКА), який здійснює кластеризацію нових функціональних станів керованого технологічного процесу.

Таким чином, важливою науково-практичною задачею є розробка моделей і методів аналізу та синтезу здатної самонавчатися в режимі ФКА СППР для автоматизації виробництва складних мінеральних добрив, що і визначає актуальність теми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі інформатики Сумського державного університету за держбюджетними темами МОН України: «Математичні моделі, алгоритми та засоби інформаційної технології аналізу та синтезу інтелектуальних систем» (ДР № 0105U002825), «Математичне моделювання та оцінка функціональної ефективності адаптивної системи керування дистанційним навчанням» (ДР № 0106U001930), «Розроблення науково-методичних основ та інформаційних засобів проектування здатних самонавчатися адаптивних систем керування технологічними процесами» (ДР №0109U001380) та науково-технічним договором «Розробка методології використання інтелектуальної системи керування, що навчається, у виробництві мінеральних добрив» (ВАТ «Сумхімпром», м. Суми), в яких здобувач був виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в розробці інформаційно-екстремального методу аналізу і синтезу СППР, що самонавчається в режимі ФКА з оптимізацією словника ознак, для автоматизації технологічного процесу виробництва складних мінеральних добрив за умов апріорної невизначеності, інформаційних і ресурсних обмежень.

У відповідності до поставленої мети сформульовано такі задачі:

- 1) аналіз об'єкту автоматизації та формування вхідного математичного опису інтелектуальної СППР, що здатна самонавчатися;
- 2) розробка інформаційно-екстремального методу аналізу і синтезу СППР, що самонавчається в режимі факторного кластер-аналізу;
- 3) розробка математичних моделей самонавчання СППР в режимі ФКА;
- 4) оцінка функціональної ефективності самонавчання СППР, що функціонує в режимі ФКА;
- 5) розробка ефективних алгоритмів оптимізації словника ознак СППР, що самонавчається в режимі ФКА;
- б) розробка гібридного інформаційно-екстремального алгоритму оптимізації параметрів функціонування СППР на базі генетичного алгоритму;
- 7) розробка засобів інформаційної технології для проектування СППР, що навчається в режимі ФКА за умов апріорної невизначеності;
- 8) використання розроблених моделей, інформаційного і програмного забезпечення СППР, що навчається в режимі ФКА, для автоматизації виробництва складних мінеральних добрив.

Об'єкт дослідження – слабо формалізований процес автоматичної класифікації функціональних станів керованого технологічного процесу виробництва складних мінеральних добрив за умов апріорної невизначеності.

Предмет дослідження – методи моделювання, оцінки функціональної ефективності та оптимізації просторово-часових параметрів функціонування СППР, що самонавчається в режимі факторного кластер-аналізу.

Методи дослідження. Теоретичні положення дисертації базуються на фундаментальних основах теорії керування слабо формалізованими процесами. При формуванні вхідного математичного опису інтелектуальної СППР використовуються методи теорії цифрової обробки сигналів. Методи теорії системного аналізу та теорії розпізнавання образів застосовуються для побудови вирішальних правил інтелектуальної СППР. Методи категорійно-функторного аналізу та теорії множин використовуються для побудови алгоритмічних моделей функціонування СППР. Методи теорії інформації використовуються для оцінки функціональної ефективності СППР. Для оптимізації параметрів функціонування СППР використовуються методи багато параметричної оптимізації та випадкового пошуку. Проектування інформаційного та програмного забезпечення здійснюється у рамках об'єктно-орієнтованої методології.

Наукова новизна одержаних результатів. Основний науковий результат полягає у розв'язанні важливої науково-технічної задачі підвищення функціональної ефективності здатної самонавчатися в режимі ФКА СППР для керування технологічним процесом виробництва складних мінеральних добрив, методів оптимізації як просторово-часових параметрів функціонування СППР, так і словників ознак за умов апіорної невизначеності. При цьому:

а) вперше розроблено інформаційно-екстремальний метод аналізу і синтезу здатної самонавчатися в режимі факторного кластер-аналізу СППР, що включає комплекс категорійних моделей, критерії оцінки функціональної ефективності і алгоритми оптимізації параметрів словника ознак, використання якого дозволило надати системі властивість адаптивності при її функціонуванні за умов апіорної невизначеності через відсутність неперервного вхідного контролю сировини та матеріалів природного походження при виробництві складних мінеральних добрив;

б) удосконалено методологію проектування інтелектуальних СППР шляхом введення додаткових контурів оптимізації параметрів словника ознак, що дозволило у рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технологія) надати системі властивість самонавчання в режимі ФКА;

в) отримали подальший розвиток методи оцінки інформативності ознак, випадкового пошуку та багатопараметричної оптимізації шляхом пошуку глобального максимуму інформаційного критерію функціональної ефективності в процесі навчання СППР у рамках ІЕІ-технології, що дозволило підвищити достовірність і оперативність прийняття керуючих рішень.

Практичне значення одержаних наукових результатів полягає в тому, що на основі узагальнення відомих результатів і застосування нових наукових положень, запропонованих у дисертації, формується сучасна науково-методологічна основа проектування здатних самонавчатися в режимі ФКА СППР для автоматизації керованих технологічних процесів за умов апіорної невизначеності, нечітких даних і ресурсних обмежень.

Результати дисертації впроваджено у вигляді моделей, методів, алгоритмів і пакетів прикладних програм проектування інтелектуальних СППР при розв'язанні задач керування розподіленими в часі та просторі технологічними процесами, що підтверджується актами впровадження на ВАТ «Сумхімпром» та ВАТ «SELMІ» (м. Суми) і в навчальний процес кафедри інформатики Сумського державного університету.

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові результати, які винесено на захист, одержано здобувачем особисто. А саме: розроблено комплекс категорійних моделей машинного навчання СППР; запропоновано комплексний критерій оптимізації словника ознак і на його основі розроблено метод оцінки функціональної ефективності СППР; створено інформаційно-екстремальний метод аналізу та синтезу СППР, що самонавчається в режимі

ФКА; розроблено методи оптимізації просторово-часових параметрів функціонування; практично реалізована інтелектуальна СППР для керування технологічним процесом виробництва складних мінеральних добрив.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на: I та II міжнародних наукових конференціях «Современные методы кодирования в электронных системах» (Суми, 2002, 2004), VI Всеукраїнській міжнародній конференції «Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів» – "Укробраз – 2002" (Київ, 2002), III міжнародній конференції «Інформаційні технології та керування» (Рига, Латвія, 2005), I та II міжнародних науково-технічних конференціях «Інтелектуальні системи в промисловості і освіті» (Суми, 2007, 2009), VII міжнародній науково-методичній конференції «Сучасний український університет: теорія і практика впровадження інноваційних технологій» (Суми, 2008).

Публікації. Основні положення та результати дисертаційної роботи викладено в 16 наукових працях, з яких 8 праць у фахових наукових виданнях ВАК України і 1 патент України.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 4-х розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 170 сторінок, з яких 34 рисунки за текстом, 5 таблиць за текстом, 2 додатки на 5 сторінках та списку використаних джерел з 146 найменувань на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертації обґрунтовано актуальність дисертаційного дослідження, сформульовано мету й основні задачі досліджень, сформульовано наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, наведено відомості про апробацію та публікацію основних результатів роботи.

У **першому** розділі подано аналітичний огляд наукових праць, присвячених питанням аналізу та синтезу інтелектуальних СППР. Показано, що не зважаючи на суттєві досягнення в галузі автоматизації технологічних процесів і великий обсяг публікацій, значних зрушень у підвищенні функціональної ефективності інтелектуальних СППР все ще не відбувається. Підтвердженням цього є гострий дефіцит робочих алгоритмів оптимізації просторово-часових параметрів функціонування здатних самонавчатися СППР, які прямо або непрямо впливають на функціональну ефективність АСК. Аналіз існуючого технологічного процесу виробництва складного мінерального добрива НРК на прикладі процесу нейтралізації сірчаної та фосфорних кислот (рис. 1) показав, що застосування для стабілізації параметрів технологічного режиму традиційних засобів керування із використанням, наприклад, ПД-регуляторів є неефективним.

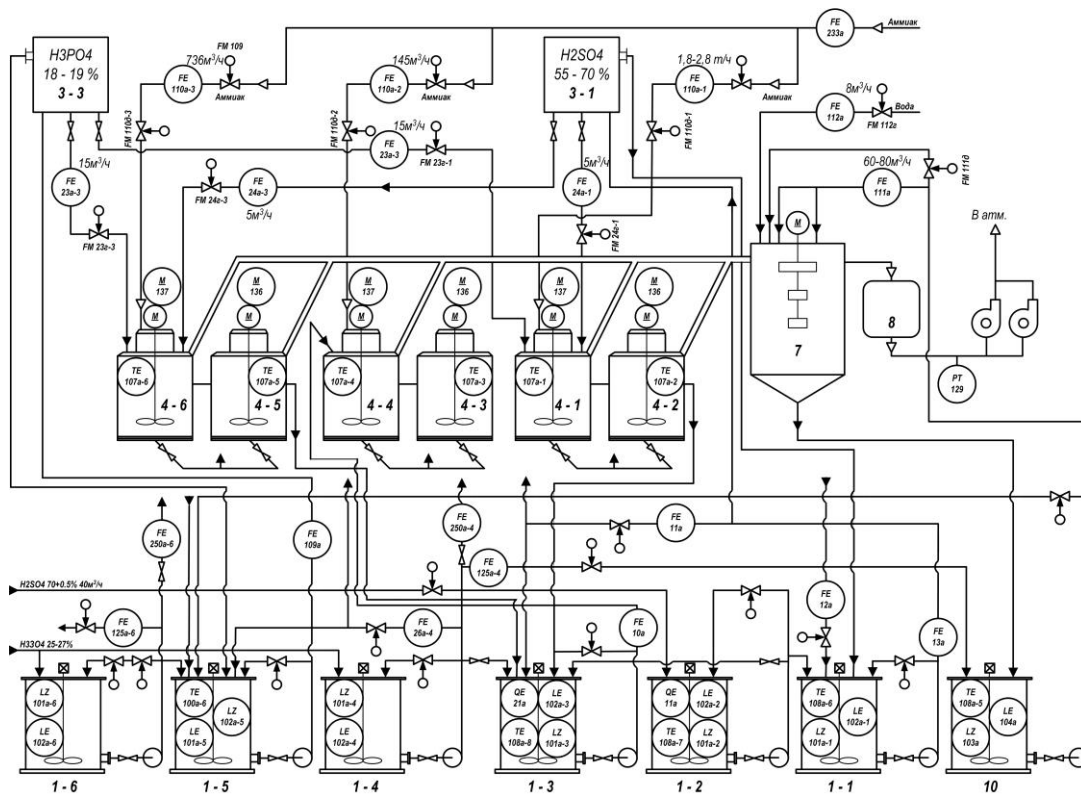


Рис. 1. Об'єкт автоматизації технологічного процесу виробництва складного мінерального добрива NPK

Зроблено висновок, що виходом із такого стану є надання АСКТП виробництва складних мінеральних добрив властивості адаптивності на основі її самонавчання.

У **другому** розділі розглянуто теоретичні та методологічні основи інформаційно-екстремального методу аналізу і синтезу СППР, що самонавчається безпосередньо в робочому режимі в рамках ФКА з оптимізацією словника ознак.

Показано, що характеристики сировини та матеріалів мають відносно великий розкид, є нестаціонарними та імплікативними, що обумовлено довільними початковими умовами керованого технологічного процесу виробництва складних мінеральних добрив та відсутністю через технічні ускладнення неперервного вхідного, міжопераційного та вихідного контролю. Сформовано принципи, поняття та основні концептуальні положення запропонованого інформаційно-екстремального методу, здійснено постановку задачі синтезу інтелектуальної СППР, що самонавчається в режимі ФКА. Для апріорно класифікованого нечіткого алфавіту класів розпізнавання $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$, який характеризує M функціональних станів технологічного процесу і утворює в просторі ознак нечітке розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$, де $M = \text{Card } \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$, побудовано шляхом допустимих перетворень в субпарацептуальному дискретному просторі ознак Ω_B оптимальне в інформаційному розумінні чітке розбиття $\mathfrak{R}^{|M|}$ еквівалентності класів,

яке визначає безпомилкові за багатовимірною навчальною матрицею вирішальні правила для оцінки поточного функціонального стану технологічного процесу.

Вхідний математичний опис СППР, що самонавчається в режимі ФКА, представлено у вигляді структури

$$\Delta_B = \langle G, T, \Omega, Z, Y, V; F, \Phi, \Pi, H \rangle,$$

де G – множина факторів, що впливають на функціонування СППР; T – множина моментів часу зняття інформації; Ω – простір ознак; Z – простір можливих функціональних станів АСК; Y – навчальна матриця $\|y_{m,i}^{(j)}\|$; $F: G \times T \times Z \rightarrow \Omega$ – оператор формування простору ознак; $\Phi: G \times T \times \Omega \times Z \rightarrow Y$ – оператор формування вибіркової множини Y на вході СППР; $\Pi: G \times T \times \Omega \rightarrow Z$ – оператор переходів, що відбиває механізм зміни станів під дією внутрішніх і зовнішніх збурень; $H: G \times T \times \Omega \times Z \rightarrow V$ – оператор переходу до нового типу вирішальних правил. Діаграму відображень множин, задіяних в режимі ФКА з самонавчанням показано на рис. 2.

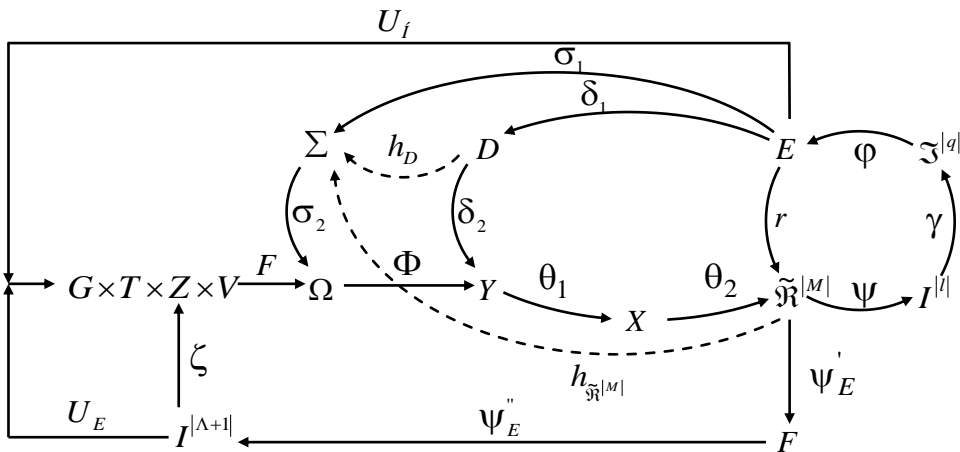


Рис. 2. Категорійна модель функціонування СППР в режимі ФКА з самонавчанням

Особливість діаграми (рис. 2) в режимі ФКА полягає в наявності паралельних контурів навчання і екзамени, що відповідає механізму когнітивних процесів прийняття рішень. При цьому оператор $\theta_1: Y \rightarrow X$ формує бінарну навчальну матрицю X , а оператор $\theta_2: X \rightarrow \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$ будує нечітке у загальному випадку розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$. Оператор $\Psi_H: \tilde{\mathfrak{R}}^{|M|} \rightarrow I^{|l|}$ перевіряє основну статистичну гіпотезу $\gamma: y_{m,i}^{(j)} \in X_m^o$, де $I^{|l|}$ – множина l статистичних гіпотез. Оператор γ формує множину точнісних характеристик $\mathfrak{S}^{|q|}$, де $q = l^2$. Оператор ϕ обчислює терм-множину E значень інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ), який є функціоналом точнісних характеристик. Оператор r корегує геометричні параметри розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$. На рис. 3 показано контури оптимізації параметрів навчання СППР.

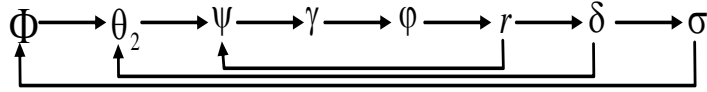


Рис. 3. Контури оптимізації

При цьому внутрішній контур операторів корегує геометричні параметри розбиття $\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}$, середній – оптимізує систему контрольних допусків (СКД) D шляхом цілеспрямованої зміни параметра поля допусків $\delta \in [1; \delta_n / 2]$, де δ_n – нормоване (експлуатаційне) поле допусків на ознаки, а зовнішній контур оптимізує словник ознак. На рис. 2 штрих-пунктиром позначено оператор h_D , який виділяє групу ознак, що не змінюють КФЕ в процесі оптимізації СКД, і оператор $h_{\tilde{\mathfrak{R}}^{|M|}}$, що перевіряє які з ознак було використано при оптимізації геометричних параметрів розбиття за дистанційними принципами. Зазначено, що ці контури впливають лише на стратегію оптимізації словника, оскільки здатні об'єднувати окремі ознаки в групи відповідно до їх впливу на СППР.

Нижній контур діаграми (рис. 2) реалізує оператор екзамену, який утворює композицію $\psi_E = \psi_1 \cdot \psi_2$, де ψ_1 – оператор обчислення функції належності реалізації відповідному контейнеру (терм-множина F); ψ_2 – оператор реалізації вирішальних правил. У цьому контурі $I^{|\Lambda+1|} = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M, \gamma_\Lambda, \gamma_{\Lambda+1}\}$ – множина гіпотез, де гіпотеза $\gamma_{\Lambda+1}$ – відмова від класифікації, і оператор ζ , який формує новий простір функціональних станів інтегрованої АСК. Оператори U_H і U_E регламентують процес навчання й екзамену відповідно, а оператор класифікації реалізацій образу в режимі екзамену утворює композицію $\psi_E = \psi'_E \circ \psi''_E$, де ψ'_E – оператор обчислення функції належності реалізації образу відповідному контейнеру; ψ''_E – оператор реалізації вирішальних правил.

Зазначено, що самонавчання СППР полягає в поєднанні ФКА з оптимізацією параметрів словника ознак шляхом багатоциклічної структурованої за параметрами функціонування ітераційної процедури пошуку глобального максимуму інформаційного КФЕ в робочій (допустимій) області визначення його функції. Узагальнений алгоритм оптимізації словника ознак представлено у вигляді ітераційної процедури пошуку максимуму цільової функції

$$\Sigma^* = \arg \max_{\Sigma \in \Omega} \{ \max_{G_\delta} \{ \max_{\{k\}} EK_k \} \},$$

де EK_k – узагальнена цільова функція, що обчислюється на k -му кроці навчання СППР і включає як інформаційні КФЕ, так і додаткові умови (наприклад, мінімальна розмірність простору ознак та інше), які є характерними для відповідного алгоритму селекції ознак; G_δ – область допустимих значень поля конт-

рольних допусків; $\{k\}$ – множина кроків навчання. При цьому мають місце такі обмеження:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\forall X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}) [X_m^o \neq \emptyset, m = \overline{1, \Lambda}]; \\ (\exists X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}) (\exists X_c^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}) [X_m^o \neq X_c^o \rightarrow X_m^o \cap X_c^o \neq \emptyset, c = \overline{1, \Lambda}]; \\ (\forall X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}) (\forall X_c^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}) [X_m^o \neq X_c^o \rightarrow \text{Ker} X_m^o \cap \text{Ker} X_c^o = \emptyset]; \\ (\forall X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}) (\forall X_c^o \in \tilde{\mathfrak{R}}^{|\Lambda|}) [X_m^o \neq X_c^o \rightarrow (d_m^* < d(x_m \oplus x_c)) \& (d_c^* < d(x_m \oplus x_c))]; \\ \bigcup_{X_m^o \in \tilde{\mathfrak{R}}} X_m^o \subseteq \Omega_B, \end{array} \right.$$

де d_m^*, d_c^* – оптимальні радіуси контейнерів класу X_m^o і найближчого до нього класу X_c^o ; $d(x_m \oplus x_c)$ – міжцентрова кодова відстань для класів X_m^o і X_c^o .

У роботі досліджено зв'язок інформаційного КФЕ самонавчання СППР з точнісними характеристиками при двухальтернативних рішеннях. На рис. 4а показано графік ентропійного критерію $E = f(D_1, D_2)$, де D_1, D_2 – точнісні характеристики: перша та друга достовірності відповідно, що обчислюються на кожному кроці відновлення в радіальному базисі простору ознак Хеммінга оптимальних контейнерів класів розпізнавання. На рис. 4б представлено графік інформаційної міри Кульбака.

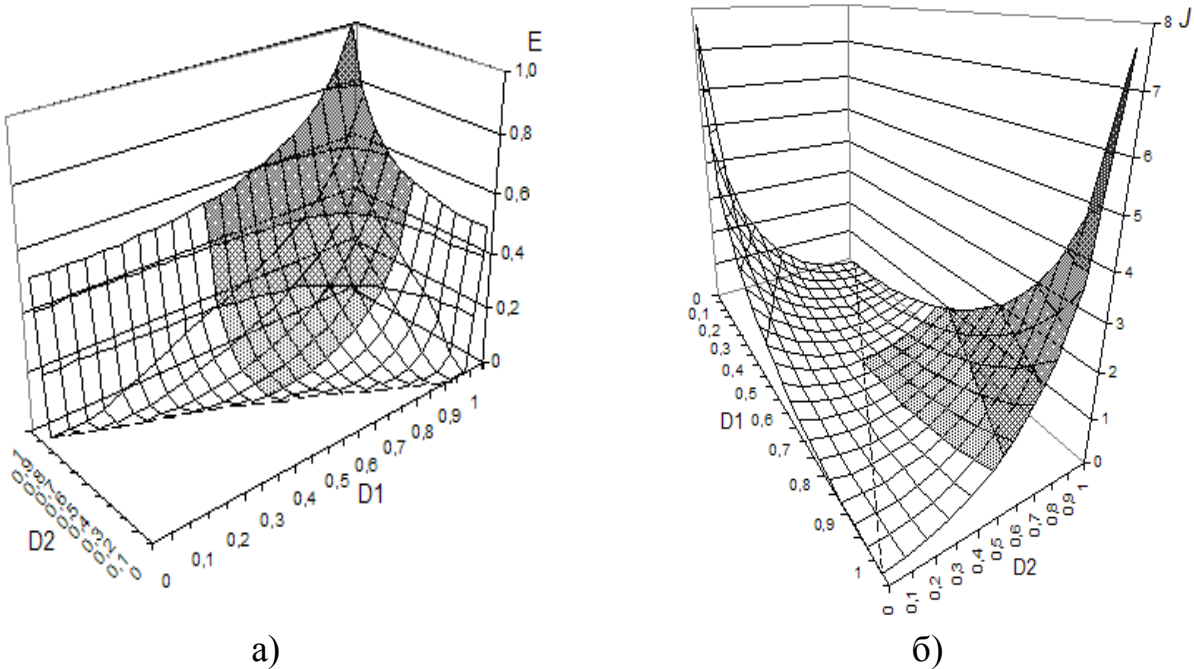


Рис. 4. Графіки залежності модифікованого КФЕ від точнісних характеристик: а) ентропійний критерій; б) критерій Кульбака

Аналіз рис. 4 показує, що функції інформаційних критеріїв є взаємно-неоднозначні, що вимагає введення робочої (допустимої) області визначення функцій, в якій значення першої та другої достовірностей повинні бути більшими відповідних помилок першого та другого роду.

У роботі досліджено вплив потужності словника ознак і алфавіту класів розпізнавання на ефективну та спроможну оцінку асимптотичної повної ймовірності правильного прийняття рішень. Для загального випадку нечіткого розбиття $\tilde{\mathfrak{N}}^{[2]}$ для двох класів X_0^o і X_1^o досліджено розподіл реалізацій образів в просторі Хеммінга і доведено три леми і теорему:

Л е м а 1. Кількість бінарних реалізацій, що знаходяться на кодовій відстані d_0 від двійкового вектора x_0 та d_1 від двійкового вектора x_1 дорівнює нулю, якщо $d_0 + d_1 < d(x_0 \oplus x_1)$.

Л е м а 2. Кількість бінарних реалізацій, що знаходяться на кодовій відстані d_0 від вектора x_0 та відстані d_1 від вектора x_1 дорівнює нулю, якщо $d_1 = |d(x_0 \oplus x_1) - d_0| + 2p + 1$, де $p = 0, 1, 2, \dots$

Л е м а 3. Кількість двійкових реалізацій, що знаходяться на кодовій відстані d_0 від вектора x_0 та відстані d_1 від вектора x_1 , якщо $d_1 = d(x_0 \oplus x_1) - d_0$ та $d_0 \leq d(x_0 \oplus x_1)$, дорівнює

$$n = \frac{d(x_0 \oplus x_1)!}{d_0!(d(x_0 \oplus x_1) - d_0)!}$$

Т е о р е м а 1. Кількість двійкових реалізацій, що знаходяться на кодовій відстані d_0 від двійкового вектору x_0 та d_1 від двійкового вектору x_1 дорівнює

$$n = \frac{d(x_0 \oplus x_1)!}{(d_0 - p)!(d(x_0 \oplus x_1) - d_0 + p)!} \cdot \frac{(N - d(x_0 \oplus x_1))!}{(N - d(x_0 \oplus x_1) - p)!p!},$$

$$\text{де } p = \frac{d_1 + d_0 - d(x_0 \oplus x_1)}{2}.$$

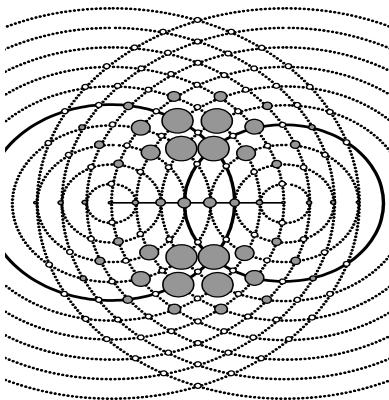


Рис. 5. Структура простору Хеммінга при побудові контейнерів за принципом “найближчого сусіда”

На рис. 5 показано структуру десятивимірного бінарного простору, в якому відтворено контейнери двох класів X_0^o та X_1^o , що перетинаються. При цьому діаметр заповнених кіл відповідає кількості двійкових реалізацій, що характеризуються відповідними відстанями від центрів зображених контейнерів.

Таким чином, деталізований аналіз структури розбиття класів у просторі Хеммінга свідчить про імплікативність

і симетричність розподілу векторів-реалізацій класів у відповідних контейнерах, побудованих в радіальному базисі простору ознак.

У третьому розділі розглядається задача оптимізації параметрів функціонування СППР, що самонавчається у режимі ФКА. Як вхідні дані алгоритмів оптимізації параметрів функціонування СППР використано експериментальні дані, одержані безпосередньо в процесі функціонування АСК технологічним процесом виробництва складних мінеральних добрив у ВАТ “Суміхімпром”.

За результатами фізичного моделювання доведено, що як ентропійний критерій, так і інформаційна міра Кульбака визначають однакові за значенням оптимальні параметри функціонування СППР. Показано, що у загальному випадку застосування алгоритму навчання з оптимізацією контрольних допусків не дозволяє побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила. Тому запропоновано і програмно реалізовано алгоритм самонавчання СППР з оптимізацією словника ознак, за яким на кожному кроці формувалися варіанти словників з меншою потужністю у порівнянні з словниками, що формувалися на попередньому кроці навчання. На рис. 6 показано динаміку зміни максимального усередненого значення ентропійного нормованого КФЕ для варіантів словників, одержаних на першому кроці навчання, де неперервна пряма лінія відповідає значенню цього критерію \bar{E}_{ALL}^* для апріорного словника ознак.

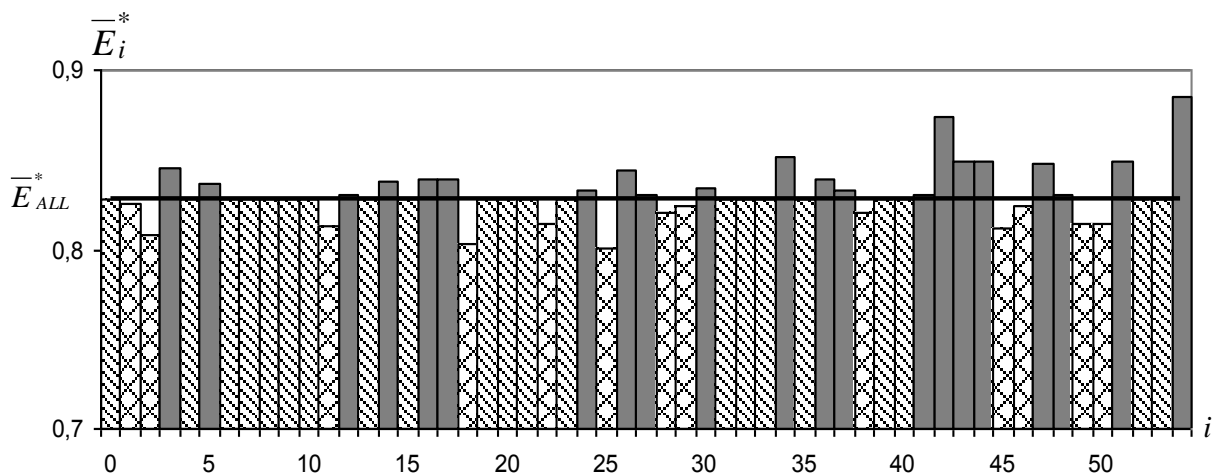


Рис. 6. Максимальне усереднене значення КФЕ для варіантів словників, сформованих в процесі оцінки інформативності ознак

На рис. 6 односторонньою штриховкою позначено неінформативні ознаки, при видаленні яких максимальне усереднене значення КФЕ $\bar{E}_i^* = \bar{E}_{ALL}^*$, двосторонньою штриховкою – інформативні ознаки, для яких $\bar{E}_i^* < \bar{E}_{ALL}^*$, сірим кольором – “заважаючі” ознаки, для яких $\bar{E}_i^* > \bar{E}_{ALL}^*$. Аналіз рис. 6 показує, що ознаки 1, 5, 7-11, 14, 16, 20-22, 24, 32-34, 36, 40, 41, 53, 54 є неінформативними, оскільки їх видалення не впливає на значення КФЕ. При цьому апріорний слов-

ник ознак включав 21 неінформативну, 21 заважаючу та 13 інформативних ознак. Найбільш інформативною є 25 ознака „ВА013”, оскільки при її видаленні із словника максимальне усереднене значення КФЕ зменшилося на 3%. Максимально заважаючою виявилася 55 ознака „ВА107”. При її видаленні із словника максимальне усереднене значення КФЕ збільшилося на 7% .

Для формування варіантів словників ознак застосовувався алгоритм випадкового пошуку. При цьому кількість варіантів словників, для яких середнє максимальне значення КФЕ більше за відповідне значення КФЕ для повного словника (рис. 6), складає всього 1,7% від загальної кількості згенерованих, то для підвищення цього показника запропоновано алгоритм оптимізації словника з використанням адаптивного випадкового пошуку шляхом корекції ймовірностей включення ознаки у варіанти словників. За цим алгоритмом формувалися 300 потенційних словників, для кожного з яких здійснювалася оптимізація відповідних параметрів функціонування та визначалося усереднене глобальне значення КФЕ. Після цього проводилася модифікація ймовірностей включення кожної ознаки до наступного словника в залежності від того, чи була присутня ця ознака в поточному словнику, а також чи дозволяє словник, що аналізується, підвищити ефективність у порівнянні з попередніми. У результаті кількість варіантів словників, для яких середнє значення КФЕ було більше за відповідне значення КФЕ для повного словника, склало 46,7% від загальної кількості. Найбільш ефективним виявився варіант словника № 136, який мав потужність $N=29$ і складався з 2, 3, 7 – 10, 12, 13, 15 – 20, 23 – 25, 28, 31, 32, 34, 35, 39, 44, 46, 50, 51, 53, 55 ознак.

Динаміку зміни усередненого КФЕ за Кульбаком при оптимізації СКД для сформованого словника ознак показано на рис. 7.

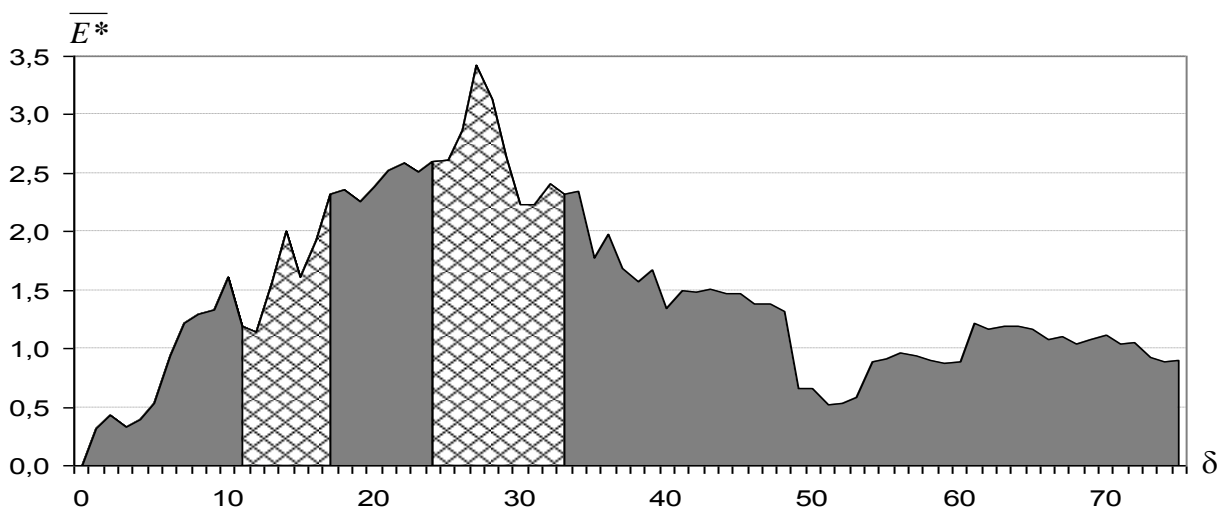


Рис. 7. Динаміка зміни КФЕ в процесі оптимізації СКД для словника ознак, сформованого з використанням адаптивного випадкового пошуку

Аналіз рис. 7 показує, що оптимальне значення параметра поля допусків як відхилення верхнього та нижнього контрольного допуску від центра розсіювання дорівнює $\delta = \pm 27$. При цьому значення усередненого КФЕ було більше за значення, отримане для повного початкового словника і дорівнювало 3,43.

Оптимізація словника ознак здійснювалася за схемою алгоритму послідовно-спадкової селекції. На рис. 8 показано залежність усередненого за алфавітом класів ентропійного КФЕ від поля контрольних допусків.

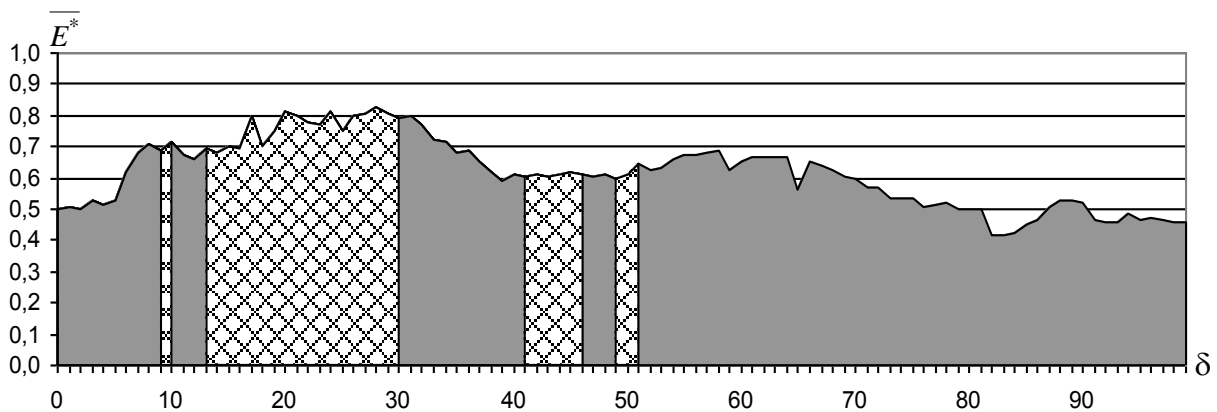


Рис. 8. Графік зміни ентропійного критерію при оптимізації параметра поля допусків для початкового словника ознак

Аналіз рис. 8 показує, що оптимальне значення параметра поля контрольних допусків дорівнює $\delta^* = \pm 28$ (у відносних одиницях) при $E_1^* = 0,82$. При цьому середнє значення радіусів контейнерів для початкового надлишкового словника ознак дорівнює $\bar{d}_0 = 10,5$ і середня міжкласова відстань для заданого алфавіту дорівнює $\bar{d}_{0c} = 11,75$. Таким чином, можна зробити висновок, що класи суттєво перетинаються, оскільки $(E^* < \bar{E}_{гран}^*)$. Процес оптимізації СКД для оптимального словника Σ^* ілюструє рис. 9.

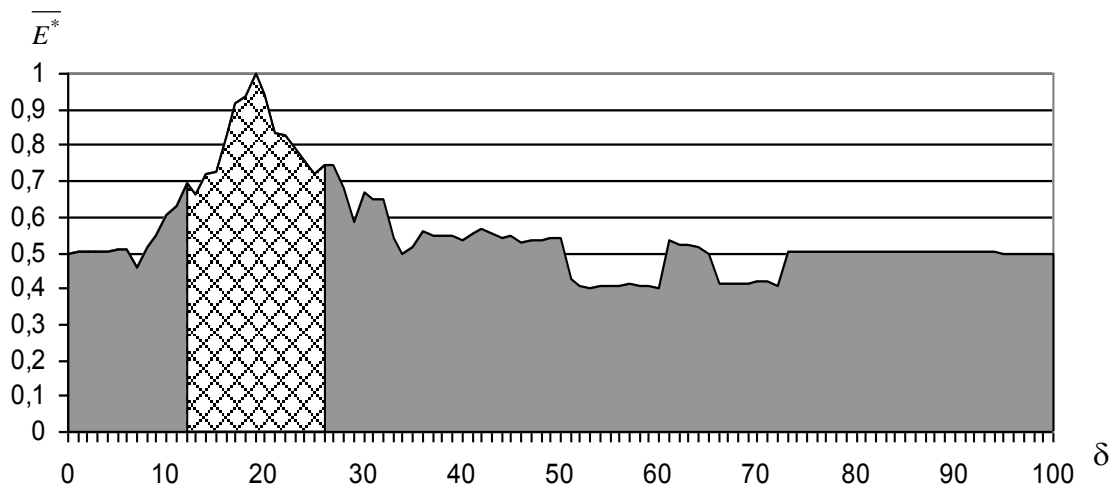


Рис. 9. Графік залежності ентропійного КФЕ від параметра поля контрольних допусків для оптимального словника ознак

Аналіз рис. 9 показує, що оптимальне значення поля контрольних допусків для всіх ознак дорівнює $\delta^* = \pm 19$ (у відносних одиницях) при максимальному граничному значенні нормованого ентропійного критерію $\bar{E}_{гран}^* = 1,0$, що свідчить про побудову безпомилкового за навчальною матрицею класифікатора. При цьому середнє значення радіусів контейнерів дорівнює $\bar{d} = 3,75$, а середня міжкласова відстань для заданого алфавіту дорівнює $\bar{d}_c = 6,25$.

Таким чином, оптимізація словника ознак у рамках запропонованого інформаційно-екстремального алгоритму навчання СППР призвела до підвищення достовірності оцінки функціонального стану технологічного процесу. При цьому середнє значення радіусів контейнерів класів зменшилося у 2,8 рази, а середня міжцентрова відстань для заданого алфавіту збільшилася у 1,9 рази у порівнянні з початковим неоптимальним словником. Крім того, за рахунок зменшення потужності словника ознак з 55 до 21 суттєво підвищено оперативність навчання СППР.

У четвертому розділі розглянуто застосування одержаних в дисертації наукових результатів для розроблення інформаційного та програмного забезпечення адаптивної АСК технологічного процесу виробництва складного мінерального добрива *НПК* (азот-фосфор-калій) у ВАТ «Суміхімпром» та особливості методології синтезу СППР, що самонавчається в режимі ФКА.

Інтерфейс адаптивної АСК технологічного процесу виробництва складного мінерального добрива *НПК* показано на рис. 10.

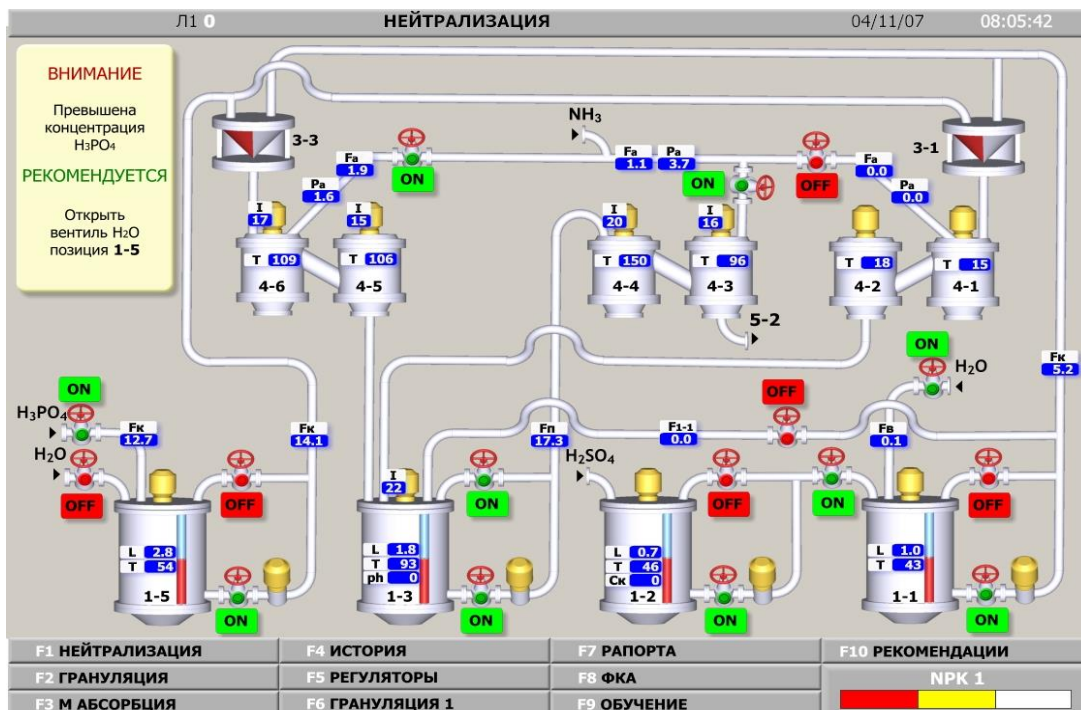


Рис. 10. Інтерфейс адаптивної АСК технологічного процесу виробництва складних мінеральних добрив з оптимізацією словника ознак

На рис. 10 показано мнемосхему процесу нейтралізації фосфорної та сірчаної кислот, операції для візуалізації поточних функціональних станів основних складових технологічного процесу, формування команд для зміни режимів інформаційних агентів СППР, діаграму співвідношення основних хімічних компонентів, яка формується за результатами останнього хімічного аналізу та постійне вікно видачі оператору рекомендацій. Додатково введені в мнемосхему кнопки F8 запускає функціонування СППР у режимі ФКА, а кнопка F9 дозволяє здійснювати візуалізацію процесу самонавчання системи з оптимізацією словника ознак для кожного нового алфавіту класів.

Наведено опис структури інформаційного та програмного забезпечення здатної самонавчатися СППР на базі *blackboard*-архітектури, яка є характерною для інтелектуальних продукційних систем і використовує механізм опосередкованої комунікації багатоагентної моделі з поданням поточного стану системи.

У кінці розділу розглянуто методологічні положення проектування СППР, що самонавчаються в режимі ФКА, і запропоновано рекурсивну ієрархічну структуру задач аналізу і синтезу, які є взаємопов'язаними.

Використання здатної самонавчатися в режимі ФКА АСК технологічного процесу для виробництва складних мінеральних добрив дозволило усунути вплив суб'єктивних факторів на технологічний режим, підвищити точність і оперативність керування технологічним процесом, а головне – здійснювати корекцію технологічного режиму з метою надання йому максимальної функціональної ефективності, що забезпечило підвищення виходу конденційного продукту під час дослідно-цехових випробувань на 7% і при цьому зменшити на 5% витрати азоту та карбонату.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано важливу науково-практичну задачу аналізу і синтезу здатної самонавчатися в режимі ФКА СППР для автоматизації технологічного процесу виробництва складних мінеральних добрив за умов априорної невизначеності. Результати роботи дозволяють зробити такі висновки.

1. За результатами аналітичного огляду джерел інформації проаналізовано сучасний стан та тенденцію розвитку АСК на базі інтелектуальних СППР і показано, що використання сучасних засобів автоматизації, наприклад, у вигляді цифрових ПД-регуляторів, не дозволяє ефективно розв'язувати задачі автоматизації технологічних процесів за умов відсутності через технічні проблеми неперервного вхідного контролю сировини та матеріалів природного забезпечення і зроблено висновок про необхідність надання АСК властивості адаптивності шляхом самонавчання і автоматичної класифікації. На основі аналізу об'єкту автоматизації сформовано вхідний математичний опис інтелектуальної СППР.

2. Запропоновано перспективний інформаційно-екстремальний метод аналізу і синтезу інтелектуальної СППР, що самонавчається в режимі ФКА, який до-

зволяє побудувати безпомилкові за навчальною та контрольною багатовимірними матрицями вирішальні правила шляхом оптимізації просторово-часових параметрів функціонування, в тому числі і словника ознак.

3. Запропоновано комплекс логічно пов'язаних у рамках ІЕІ-технології категорійних моделей у вигляді діаграм відображень множин, що застосовуються при функціонуванні СППР в режимі ФКА з оптимізацією словника ознак, які дозволяють спрощувати синтез алгоритмів функціонування інтелектуальних АСК технологічного процесу.

4. Розроблено алгоритм оцінки функціональної ефективності навчання і досліджено вплив параметрів словника ознак на функціональну ефективність СППР, що самонавчається в режимі ФКА.

5. Розроблено інформаційно-екстремальні алгоритми самонавчання СППР в режимі ФКА з оптимізацією словника ознак, що дозволило побудувати безпомилкові за навчальною вибіркою вирішальні правила.

6. Розроблено гібридні алгоритми оптимізації геометричних параметрів контейнерів класів розпізнавання, системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання, та параметрів оптимізації словника ознак, що дозволило підвищити оперативність класифікації функціональних станів технологічного процесу.

7. Обґрунтовано у рамках технології *blackboard* компонентну архітектуру мультіагентної СППР, що самонавчається в режимі ФКА, і створено інтелектуальну СППР у складі розподіленої АСК технологічного процесу виробництва складних мінеральних добрив на базі комплексу програмних і апаратних засобів SCADA-система.

8. Запропоновано методологію проектування СППР, що самонавчається в режимі ФКА. Показано, що основна її відмінність від традиційних методологій полягає в тому, що при моделюванні когнітивних процесів прийняття рішень етапи аналізу і синтезу є взаємопов'язаними, а їх реалізація в процесі функціонування СППР здійснюється залежно від результатів попередніх задач.

9. За результатами дослідно-цехових випробувань у ВАТ «Сумхімпром» встановлено, що використання синтезованої СППР, що самонавчається в режимі ФКА, підвищує функціональну ефективність АСК технологічного процесу виробництв складних мінеральних добрив через надбання нею властивості адаптивності. При цьому на 7 % збільшено вихід конденційного продукту і зменшено на 5 % витрати азоту та карбонату. Результати досліджень впроваджено на підприємствах ВАТ «Сумхімпром», ВАТ «Selmi» (м. Суми) і в навчальному процесі Сумського державного університету.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шелехов І. В. Оптимізація параметрів навчання АСУТП, що здатна навчатися / А. С. Краснополюсовський, В. М. Волков, М. М. Гривков, М. В. Козинець, І. В. Шелехов // Вісник Сумського державного університету. – 2003. – № 11(57). – С. 5–12.

Здобувачем розроблено та програмно реалізовано алгоритм навчання з оптимізацією рівня селекції координат двійкових еталонних векторів.

2. Шелехов І. В. Класифікаційне управління процесом виробництва складних мінеральних добрив / М. О. Кий, В. М. Волков, А. С. Краснопоєсовський та ін. // Східно-європейський журнал передових технологій. – Харків, 2003. – 6(6). – С. 12–17.

Здобувачем запропоновано алгоритм паралельної оптимізації контрольних допусків на ознаки для АСКТП виробництва складних мінеральних добрив.

3. Шелехов І. В. Обчислювальний аспект оптимізації контейнерів класів розпізнавання у радіальному базисі / А. С. Краснопоєсовський, А. М. Скаковська, І. В. Шелехов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук, 2003. – Вип. 3. – С. 86 – 89.

Здобувачем розроблено алгоритм та програмну реалізацію екзамену для розпізнавання образів.

4. Шелехов І. В. Розпізнавання електронограм в електронній мікроскопії / А. С. Краснопоєсовський, М. В. Козинець, І. В. Шелехов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков, 2003. – Вып. 18. – С. 140–146.

Здобувачем розроблено та програмно реалізовано інформаційно-екстремальний алгоритм навчання системи та алгоритм визначення мінімально обсягу репрезентативної навчальної вибірки.

5. Шелехов І. В. Підвищення оперативності навчання системи керування за методом функціонально-статистичних випробувань / І. В. Шелехов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, 2006. – № 2. – С. 95–101.

6. Шелехов І. В. Оцінка інформативності ознак розпізнавання за методом функціонально-статистичних випробувань / А. С. Довбиш, І. В. Шелехов // Вісник Сумського державного університету. – Суми, 2006. – № 10(94). – С. 51–58.

Здобувачем розроблено алгоритм оцінки інформативності ознак СППР для керування технологічними процесом.

7. Шелехов І. В. Оцінка інформативності тестів в системах керування дистанційним навчанням / С. О. Петров, І. В. Шелехов // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2007. – № 4(27). – С. 586–591.

Здобувачем програмно реалізовано алгоритм оцінки інформативності ознак системи керування дистанційним навчанням.

8. Шелехов І. В. Дослідження впливу параметрів гібридного алгоритму на функціональну ефективність навчання системи підтримки прийняття рішень / О. О. Дзюба, І. В. Шелехов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, 2009. – № 3(37). – С. 88–91.

Здобувачем розроблено алгоритм оптимізації параметрів генетичного алгоритму у рамках ІЕІ-технології

9. Shelechov I. V. Optimisation of containers' types of recognition using method of functional-statistical tests / A. S. Krasnopoyasovsky, M. V. Kozinets, I. V. Shelechov // Buletinul Universitatii Petrol-Gaze din Ploiesti. – Ploiesti, Romania, 2003. – Vol. LV. Ser. Tehnica. – № 1. – P. 122–125.

Здобувачем розроблено вхідний математичний опис та програмно реалізовано модифікований базовий алгоритм навчання.

10. Пат. 64570А Україна, МКІ Н 01 J 37/21 Спосіб автоматичного фокусування електронного мікроскопа за зображенням досліджуваного об'єкта / А. С. Краснопоясовський, А. М. Скаковська, М. В. Козинець, І. В. Шелехов; заявник і патентовласник Сумський держ. ун-т. – № 2003065957; заявл. 26.06.03; опубл. 16.02.04, Бюл. № 2.

Здобувачем розроблено та програмно реалізовано алгоритм обчислення інформаційного КФЕ навчання електронно-оптичної системи.

11. Шелехов І. В. Оптимізація параметрів навчання за вибірками малого обсягу / А. С. Краснопоясовський, І. В. Шелехов // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів: Праці VI Всеукраїнської міжнародної конференції "Укробраз – 2002". – Київ, 2002. – С. 39–42.

Здобувачем розроблено та програмно реалізовано алгоритм корекції координат двійкових еталонних векторів.

12. Шелехов І. В. Оптимізація словника ознак розпізнавання за методом послідовної спадної селекції / І. В. Шелехов // Современные методы кодирования в электронных системах: междунар. науч. конф., 26 – 27 окт. 2004 г.: тезисы докл. – Сумы, 2004. – С. 42–43.

13. Shelechov I. V. Feature Selection for Learning Control System in frameset of method functional-statistical tests / A. S. Krasnopoyasovsky, I. V. Shelechov // Informational Technologies and Management: Theses of 3-rd International Conference, 14 – 15 April 2005. – Information Systems Management Institute, Riga, Latvia, 2005. – P. 71.

Здобувачем розроблено та програмно реалізовано алгоритм оптимізації словника ознак з урахуванням особливостей інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології.

14. Шелехов І. В. Гібридний кластер-аналіз керованих технологічних процесів за інформаційно-екстремальною інтелектуальною технологією / І. В. Шелехов // Інтелектуальні системи в промисловості і освіті: міжнар. наук.-техн. конф., 7-9 листопада 2007 р.: тези доп. – Суми, 2007. – С. 53–55.

15. Шелехов І. В. Інформаційне та програмне забезпечення системи керування дистанційним навчанням з використанням методів адаптивного випадкового пошуку / З. І. Маслова, І. О. Чумак-Жунь, І. В. Шелехов // Сучасний український університет: теорія і практика впровадження інноваційних технологій: VII міжнар. наук.-метод. конф., 22 – 24 квітня 2008 р.: тези доп. – Суми, 2008. – С. 17–18.

Здобувачем розроблено та програмно реалізовано інформаційно-екстремальний алгоритм навчання з використанням випадкового пошуку.

16. Шелехов І. В. Інформаційно-екстремальна корекція генотипних параметрів навчання / І. В. Шелехов, О. Б. Барило // Інтелектуальні системи в промисловості і освіті: міжнар. наук.-техн. конф., 3 – 5 грудня 2009 р.: тези доп. – Суми, 2009. – С. 23–25.

Здобувачем розроблено алгоритм корекції контрольних допусків.

АНОТАЦІЇ

Шелехов І. В. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для автоматизації виробництва складних мінеральних добрив. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2010.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню функціональної ефективності адаптивних розподілених автоматизованих систем керування (АСК) технологічними процесами шляхом подальшого розвитку прогресивної інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології за умов відсутності через технічні ускладнення неперервного вхідного міжопераційного та вихідного контролю сировини та матеріалів. Запропоновано та теоретично обґрунтовано новий інформаційно-екстремальний метод аналізу і синтезу інтегрованої в розподілену АСК системи підтримки прийняття рішень (СППР), що самонавчається в режимі факторного кластер-аналізу (ФКА). Суть запропонованого методу полягає в трансформації на етапі навчання СППР апріорного нечіткого розбиття простору ознак розпізнавання в чітке розбиття еквівалентності шляхом оптимізації в інформаційному розумінні словника ознак, що дозволило побудувати безпомилкові за навчальною та контрольною багатовимірними навчальними матрицями вирішальні правила. Розроблено та впроваджено засоби інформаційних технологій синтезу СППР, що самонавчається в режимі ФКА, при виробництві складних мінеральних добрив. Впровадження наукових результатів дозволило підвищити відсоток виходу кондиційного продукту, точність та оперативність керування технологічним процесом і зменшити витрати сировини та матеріалів.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, категорійна модель, інформаційно-екстремальний метод, інформаційний критерій, факторний кластер-аналіз, технологічний процес, складні мінеральні добрива.

Шелехов І. В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для автоматизации производства сложных минеральных удобрений. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». – Харьков, 2010.

Диссертационное исследование выполнено с целью повышения эффективности и оперативности управления слабоформализованными технологическими процессами, распределёнными в пространстве и времени, происходящими при произвольных начальных условиях, отсутствии из-за технических сложностей входного, межоперационного и выходного контроля сырья и мате-

риалов. Актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью внедрения в производство самообучающихся в режиме факторного кластер-анализа систем поддержки принятия решений (СППР) для автоматизации технологических процессов, что позволяет наделить распределённую автоматизированную систему управления (АСУ) свойством адаптивности. Разработаны научно-методологические основы информационно-экстремального метода анализа и синтеза самообучающихся в режиме СППР, функционирующих в условиях априорной неопределенности, информационных и ресурсных ограничений. Суть предложенного в диссертационной работе метода заключается в трансформации на этапе обучения СППР априорно нечёткого разбиения пространства признаков на классы распознавания в чёткое разбиение эквивалентности путём оптимизации пространственно-временных параметров функционирования, включая параметры словаря признаков, что позволило построить безошибочные по многомерным обучающей и контрольной матрицам решающие правила. Преимуществом разработанного метода синтеза является целенаправленная нормализация априорно деформированного образа непосредственно в процессе обучения СППР путём итерационной процедуры поиска глобального максимума функции информационного критерия функциональной эффективности в рабочей (допустимой) области её определения. Разработаны категорийные модели и алгоритмы оптимизации как фенотипных параметров функционирования СППР в режиме факторного кластер-анализа с самообучением, влияющих непосредственно на геометрические параметры разбиения пространства признаков на классы распознавания, так и генотипных параметров функционирования, влияющих на распределение многомерных реализаций образов в пространстве признаков. При этом самообучение СППР осуществляется путём изменения мощности словаря признаков и алфавита классов распознавания в процессе функционирования СППР в режиме факторного кластер-анализа. Для оптимизации словаря признаков распознавания разработаны модификации эвристических алгоритмов и статистических алгоритмов в рамках информационно-экстремальной интеллектуальной технологии анализа и синтеза обучающихся систем.

В работе исследованы вопросы повышения оперативности самообучения СППР, функционирующей в рабочем режиме, на основе разработанных в диссертации алгоритмов оптимизации словаря признаков и использования для многопараметрической оптимизации модифицированных адаптивных генетических алгоритмов. Исследовано влияние изменения мощности словаря признаков на структуру бинарного пространства признаков, что позволило оценивать степень нечёткой компактности. Разработаны средства информационных технологий синтеза интеллектуальной СППР, функционирующей в режиме факторного кластер-анализа, при производстве сложных минеральных удобрений. Реализация компонентной архитектуры мультиагентной интеллектуальной

СППР в составе распределённой АСУ технологическим процессом производства сложных минеральных удобрений выполнена с использованием технологии *blackboard* и комплекса программных и аппаратных средств SCADA-системы.

Внедрение научных результатов диссертационной работы позволило повысить процент выхода готового кондиционного продукта, точность и оперативность управления технологическим процессом и уменьшить расход сырьевых компонентов минеральных удобрений.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, категорийная модель, информационно-экстремальный метод, информационный критерий, факторный кластер-анализ, технологический процесс, сложные минеральные удобрения.

Shelechov I.V. The intellectual decision support system for automation of manufacture of complex mineral fertilizers. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of a Cand.Tech.Sci. on a speciality 05.13.07 – automation of control processes. National Technical University "Kharkiv Politechnical Institute". – Kharkov, 2010.

Dissertation research is devoted the increase of functional efficiency of the adaptive distributed automated control systems (ACS) of technological processes by subsequent development of progressive informatively extreme intellectual technology at the terms of absence through technical complications of continuous entrance interoperational and initial control of raw material and materials. A prospective informatively extreme method of analysis and synthesis of the computer-integrated in distributed ACS and self-learned in the mode of factor cluster analysis (FCA) decision support systems (DSS) is offered and theoretically validated. A kernel of offered method consists in transformation on the training stage of DSS of a priori fuzzy partition of feature's space in the equivalence craps partition by optimization in the informative meaning the set of features, that allowed to form error-free decision rules on multidimensional training and control sets. Facilities of information technologies of synthesis of self-learning in the mode of FCA DSS are developed and applied in industry of complex mineral fertilizers production. Application of scientific results allowed to promote the percent of output of standard product, accuracy and operationability of controlled technological process, and decrease expenses raw material and materials.

Keywords: decision support system, categorical model, information-extreme method, information criterion, factorial cluster analysis, technological process, complex mineral fertilizers

Підписано до друку 25.03.2010. Формат 60x84/16. Папір ксероксний
Обл. вид. арк.0,9. Наклад 100 пр. Гарнітура Times New Roman Cyr.
Умовн.- друк. арк. 1,1. Замовлення № 1070

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.