

РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ПРЕЦЕНЗІЙНИХ СПЛАВІВ

І. Д. Труфанов

Професор, академік Української академії наук, дійсний член Української асоціації інженерів-електриків, доктор технічних наук, професор*

К. І. Чумаков

Магістр-електромеханік, асистент*

Контактний тел.: 066-551-10-87

E-mail: adlas@mail.ru

*Кафедра „Електричні апарати”**

Ю. Е. Пачколін

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра „Електропостачання промислових підприємств”**

Контактний тел.: (061) 233-00-24

О. О. Бондаренко

Аспірант

Кафедра „Електричні машини”**

Контактний тел.: (0612) 34-64-19

**Запорізький національний технічний університет
вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063

Розглядаються теоретичні підходи до розв’язання проблем покращення енергоекономічної ефективності технологічних процесів електросталеплавлення за технологією «вищого рівня» на основі адаптивних систем з контролерними керуючими комплексами промислового виконання

Ключові слова: енергоефективність, електрометалургія, автоматизація

Рассматриваются теоретические подходы к решению проблем повышения энергоэкономической эффективности технологических процессов электросталеплавления по технологии «высшего уровня» на основе адаптивных систем с контроллерными управляющими комплексами промышленного исполнения

Ключевые слова: энергоэффективность, электрометаллургия, автоматизация

The theoretical approaches as for the problems solution in increasing and power-economic efficiency of technological process of electric steel melting according to “The Highest Level” technology on the base of adaptive systems with controller controlling systems of industrial design are examined

Key words: energy efficiency, electrometallurgy, automation

Вступ

Однією з найважливіших проблем підвищення конкурентоспроможності вітчизняної економіки на сьогодні є проблема раціонального використання первинних і вторинних енергоресурсів і виявлення резервів економії наявних енергетичних матеріалів. Розв’язання проблеми та завдань енерго- й ресурсозбереження в Україні здійснюється на підставі Закону України Про енергозбереження [1].

У цій роботі запропоновані основні напрямки покращення енергоефективності технологічних процесів в електрометалургії високоякісної сталі та прецизійних сплавів чорних і кольорових металів, які відбуваються в дугових печах, що є найбільш енергоємним устаткуванням з різко змінними детермінованими і стохастичними навантаженнями.

Постановка завдань дослідження та визначення умов для їх реалізації

В Україні подальше розв’язання проблем енергоефективності й енергозбереження в електрометалургії вирішується на підґрунті раніше проведених фундаментальних досліджень у цій галузі [6, 7, 8], в яких запропоновані розробки систем керування режимами

дугових сталеплавильних печей на основі ймовірнісних моделей процесів [10], оптимізації режимів роботи потужних дугових печей на основі інтегрального критерію енергозбереження [7], питання багатокритеріальної оптимізації режимів динамічного функціонування електротехнологічних комплексів при їх роботі сумісно з системою енергозабезпечення [8, 10, 11]. Загальні питання розробки алгоритмічної структури систем керування ймовірнісними режимами в електрометалургії розв’язувалися на підставі традиційних законів теорії автоматичного регулювання координат і керування виробничими процесами.

Стрімкий розвиток теорії та практики розв’язання питань утворення високоєфективних систем автоматизації у металургії на основі комп’ютерної техніки поставив нові завдання вирішення зазначених проблем і питань із застосуванням алгоритмів нейрокерування.

Основна частина

У запропонованій роботі наведені основні аспекти та результати проведених досліджень з вирішення пи-

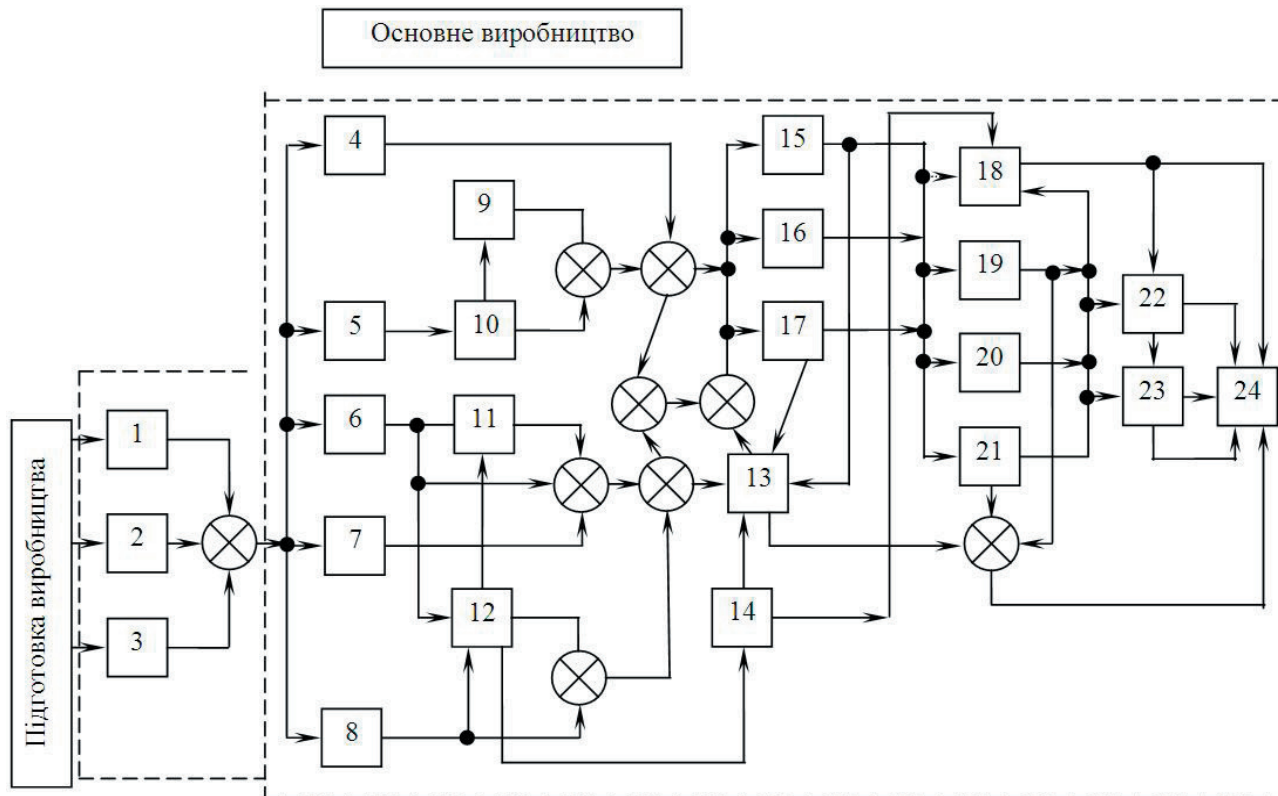


Рис. 1. Технологічна схема електрометалургійного заводу: 1 – підготовка феросплавів; 2 – підготовка сирих матеріалів; 3 – підготовка шихти; 4 – виробництво інструментальної сталі методом порошкової металургії; 5, 6 – виплавляння сталі у ДСП-50; 7 – виплавляння сталі у ДСВ-60; 8 – виплавляння спеціальних сплавів в індукційній печі; 9 – обробка сталі у вакууматорі; 10, 11 – позапічна обробка сталі в установці «піч – ківш»; 12 – виплавляння сталі в агрегаті ГРП; 13 – електрошлаковий та вакуумно-дуговий переплав; 14 – напівнеперервне розливання сталі; 15 – кування на пресах; 16 – прокатування металу на стані «1050»; 17 – кування на молотах і РКМ; 18 – калібрування металопродукції; 19 – прокатування металу на стані «280»; 20 – прокатування металу на стані «325»; 21 – прокатування металу на стані «550»; 22 – термообробка; 23 – фінішна обробка; 24 – комора готової продукції

тань адаптації нейрокерування складними системами електрометалургії [4] на підставі законів варіаційного числення й оптимального керування [5] з використанням інформаційних технологій у металургії на базі автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСКТП) та автоматизованою системою керування виробництвом (АСКВ).

Розв'язання існуючих проблем здійснюється за умов роботи електрометалургійного заводу спецсталей, технологічна схема виробничих зв'язків якого наведена на рис. 1.

Для розробки системних положень енергоефективного нейрокomp'ютерного керування процесами виробництва високоякісної сталі був використаний електродуговий комплекс на основі дугових сталеплавильних печей ДСП-50 і ДСВ-60, який для своєї роботи використовує різні енергосистеми, кількісні співвідношення між одиницями енергетичної здатності яких показані на рис. 2, а інформаційні потоки САК електросталеплавильного цеху (ЕСПЦ) наведені на рис. 3.

Застосована система менеджменту якості продукції сталеплавильного комплексу, яка реалізована на основі міжнародного стандарту ISO 9001:2000 при виконанні вимог ресертифікаційного аудиту, виконаного сертифікувальним органом TUV NORD

CERT. Найвідповідальніша продукція підприємства сертифікована TUV, Leoydis Register, Germanisher Leoyd, Det Norske Veritas, та ін. Виконання Директиви № 2001/77/ЕС Європейського парламенту і Ради Європи від 27 вересня 2001 р. щодо створення сприятливих умов реалізації програм енерго- та ресурсозбереження.

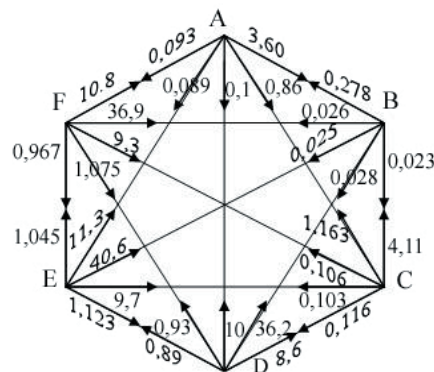


Рис. 2. Основні кількісні співвідношення між одиницями енергетичних ресурсів: А – 1 кВт·год. електроенергії; В – 1 МДж теплоти; С – 1 Мкал теплоти; D – 1 літр мазуту; Е – 1 кг мазуту; F – 1 м.куб. природного газу

Проведений аналіз і застосовані системотехнічні фактори семіотичного моделювання інформаційних потоків АСКТП базуються на низці положень сучасних методів дослідження «складних систем» [12 – 16].

Зважаючи на те, що сучасний стан розвитку науки і техніки в будь-якій галузі знань пов'язаний з аналізом, синтезом кібернетичних моделей реальних процесів забезпечення життєдіяльності людини, тварин і довкілля з наступною розробкою практичних проектів.

Серед усіх процесів й операцій наукових досліджень у техніці, особливо в енергоємних галузях, основними є алгоритмічні, для реалізації яких утворюються формалізовані та формальні моделі. Методика побудови зазначених моделей базується на декомпозиції задач на різних етапах досліджень. Для розв'язання поставленої задачі запропоновано скористатися найефективнішим засобом – семіотичним моделюванням.

Семіотичні програми реалізують спеціальну систему керування комплексом фіксованих величин і забезпечують можливість логічного виведення.

Базою реалізації таких програм є: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – множина цілей; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множина ознак; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ – множина рішень; $V = \{v_1, v_2, \dots, v_l\}$ – множина оцінок, на основі яких розробляється граф (орієнтований або неорієнтований).

Узагальненим неорієнтованим графом стосовно до електрометалургії сталі є граф, наведений на рис. 4, де F – функція основного виробництва плавлення високоякісної сталі; A – цілі деяких технологічних процесів:

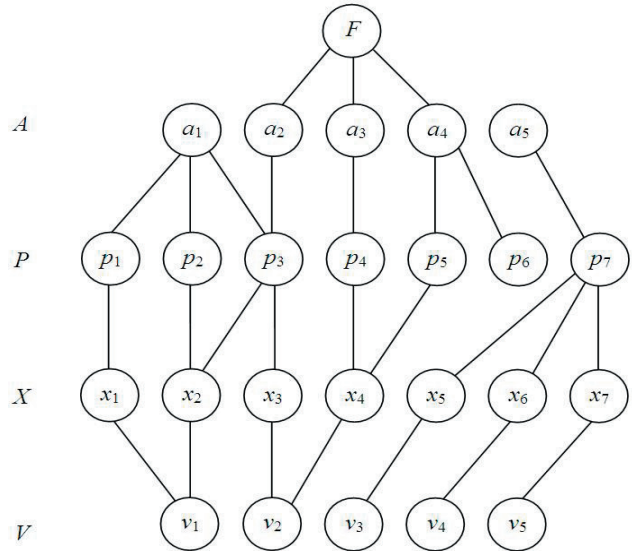
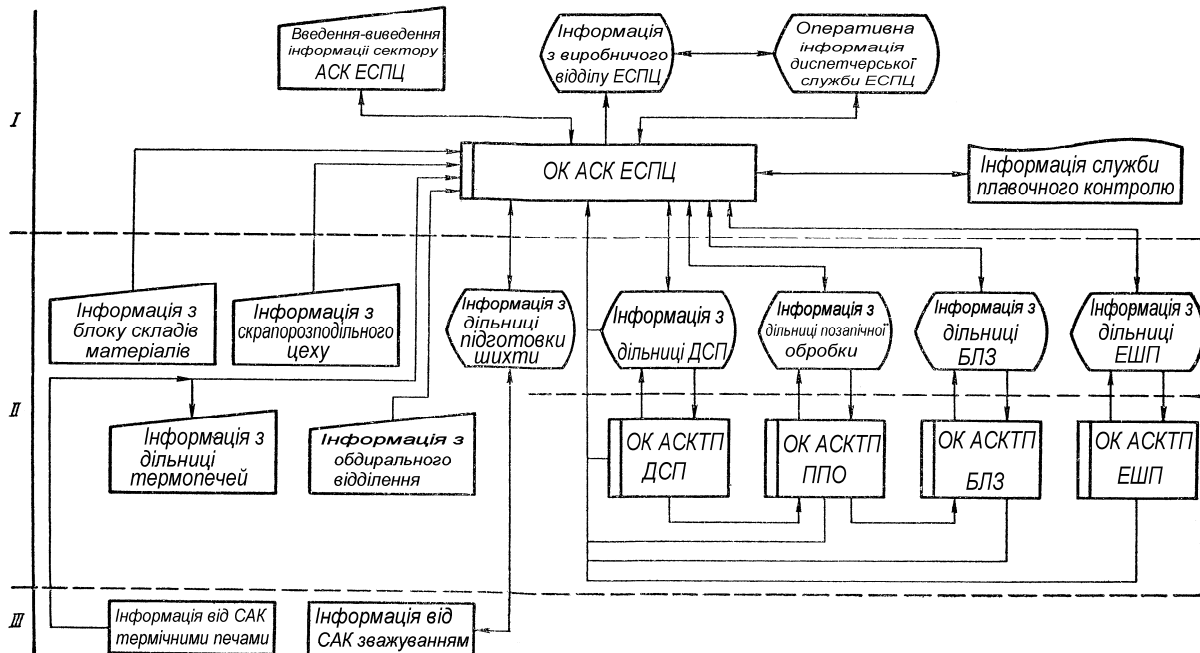


Рис. 4. Граф неорієнтований основних компонентів електрометалургії деяких сталей: a_1 – розплавлення; a_2 – карбонізація; a_3 – знегажування; a_4 – рафінування; a_5 – розкислення; P – технічні рішення за деякими марками сталі: p_1 – холодостійка; p_2 – легована; p_3 – інструментальна; p_4 – підшипникова; p_5 – рейкова; p_6 – корозійностійка; p_7 – жаростійка; X – технічні рішення за видами електроплавильних агрегатів: x_1 – унітарна піч ДСВ-60; x_2 – агрегат «піч – ківш»; x_3 – «піч – агрегат ГКР»; x_4 – агрегат «піч – вакууматор»; x_5 – індукційна канальна піч; x_6 – агрегат ЕШП; x_7 – агрегат порошкової металургії; V – множина оцінок якості сталі: v_1 – надлишок С; v_2 – нестача Р; v_3 – надлишок N; v_4 – надлишок H; v_5 – нестача W та ін.



ОК – обчислювальний комплекс АСКТП; ДСП – дугова сталеплавильна піч; БЛЗ – безперервна лінія зачищення; ЕШП – електрошлаковий переплав; ППО – позапічна обробка; САК – система автоматичного керування

Рис. 3. АСК ЕСПЦ. Схема функціональна інформаційних потоків

У цьому випадку функція дослідження мовою теорії множин, може бути виражена наступним чином:

$$F: (\psi \circ \phi(A_0)) \rightarrow V, \tag{1}$$

де ϕ – бінарне відношення між елементами множин A і P ; ψ – бінарне відношення між елементами множин P та X . У розглянутому випадку $\phi \subset (A \times P)$; $\psi \subset (P \times X)$; $A_0 \subset A$, тобто встановлюються бінарні співвідношення ϕ та ψ , як операції із зазначення тих упорядкованих декартових добутків, які знаходяться у відношенні ϕ та ψ відповідно.

Стосовно до розглянутих умов технології плавлення металу (рис. 4) відношення між множинами A та P при дослідженнях процесів перетворення енергопотоків (інформпотоків) є засобом досягнення мети, а бінарне відношення P і X – ознаки якості динаміки енерго (інформаційного) перетворення. Відповідно до рис. 4 кожній меті відповідають кілька ознак, тому підмножина P_i , з якою a_i знаходиться у відношенні ϕ , є зрізом крізь елемент a_i . У розглянутому випадку приймається до розгляду підмножина A_0 множини A й воно визначається через зріз $A_0: \phi(A_0) = ((p(Va)[a \in A_0 \wedge (a, p) \in \phi]))$. Аналогічно для $\psi(A_0) = ((x)(Vp)[p \in P_0 \wedge (p, x) \in \psi])$. Тут P_0 – зріз множини P на підмножині A_0 .

Добуток бінарних відношень $\psi \circ \phi = ((a, x)(Vp)[(a, p) \in \phi \wedge (p, x) \in \psi])$ є множиною упорядкованих пар (a, x) , які містять елемент p множини P , з яким a знаходиться у відношенні ϕ , а сам він вступає у відношення ψ з елементом x . Зріз добутку на підмножині A_0 виражається як: $\psi \circ \phi(A_0) = (((a, x)(Vp)[(a, p) \in \phi \wedge (p, x) \in \psi \wedge a \in A_0])$. Відображення зрізу добутку бінарних відношень на множину оцінок означає функцію, яка визначена на множині $\psi \circ \phi(A_0)$ та приймає значення на множині V . Кожний елемент множини V при цьому представляє собою у загальному випадку n -мірний вектор, компонентами якого є різні характеристики (енергоперетворення, рис. 3, корисності, надійності, ефективності, вартісні тощо). У цьому випадку вираз (1) розглядається як цільова функція дослідження динаміки визначених операцій, яка оптимізується за бінарним добутком

$$(F: (\psi \circ \phi(A_0)) \rightarrow V) \rightarrow opt. \tag{2}$$

Функціональні зв'язки при дослідженнях динаміки у формі узагальненого неорієнтованого графа основних компонентів деяких статей наведений на рис. 4, АСК ЕСПЦ наведена у вигляді матриці логіки зв'язків (табл. 1).

У табл. 1 позначено: 1 – стадії досліджень (розробки): 1.1 – технічне завдання ТЗ; 1.2 – технічна пропозиція ТП; 1.3 – ескізне рішення (проект); 1.4 – схемотехнічне рішення (технічний проект); 1.5 – робоча документація.

2 – процедури дослідження (розробки): 2.1 визначення потреби у дослідженнях (розробки технологічного процесу або машини); 2.2 – визначення мети; 2.3 – визначення основ системотехнічних факторів (ознак); 2.4 – пошук варіантів процесів досліджень (схемотехнічних рішень); 2.5 – прийняття рішення;

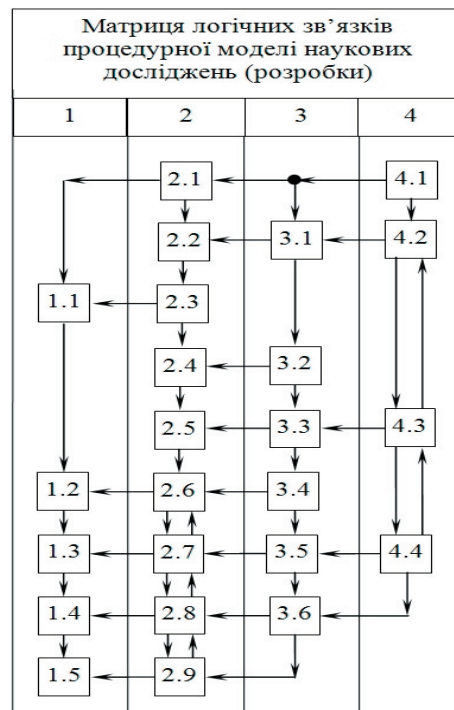
2.6 – аналіз прийнятого рішення; 2.7 – вибір схемотехнічних параметрів і режимів технологічного процесу (машини, установки, комплексу); 2.8 – розробка схемотехнічного рішення (конструювання, розробки технологічного процесу, машини, установки, комплексу); 2.9 – розробка модульних елементів (складальних одиниць, компонентів, деталей).

3 – методи розв'язання завдань досліджень (завдань розробки): 3.1 - розробка графу цілей; 3.2 – «мозковий» штурм, таблиці прийнятності рішень тощо; 3.3 – матриці рішень та ін.; 3.4 – системо- і схемотехнічний аналіз, аналіз кінематики та динаміки, моделювання якості динаміки; 3.5 – обробка статистичних даних, методи оптимізації; 3.6 – відпрацювання рішень за технологічністю, надійністю, ергономічністю, естетичністю, міцністю, уніфікацією, стандартизацією.

4 – джерела інформації: 4.1 – директивні рішення, результати аналізу стану виробництва; 4.2 – науково-технічна та періодична література, патенти, закінчені НДР і ДКР; 4.3 – досвід експлуатації систем керування, установок, машин, комплексів; 4.4 – досягнення науки і техніки, досвід і результати досліджень у суміжних галузях, ГОСТ, ДСТУ й ін. подібні документи закордонних країн.

Таблиця 1

Логіка зв'язків



Відповідно до табл. 1, математичний опис об'єкта дослідження (рис. 1) є багаторівневим процесом «складної системи» та стратифікованим (що розвивається від «стислого» на етапах верхнього рівня процедурної моделі (табл. 1) до розгорнутого на нижніх).

При застосуванні ЕОМ опис об'єкта дослідження, як правило, носить характер математичних моделей (найчастіше логіко-диференціальних). Для будь-якої ситуації прийняття рішень такі моделі являють собою множину співвідношень, які зв'язують керуваль-

ні впливи (змінні, величини яких вибираються) та параметри розглянутої задачі з вихідними змінними (змінні, які залежать від вибору керувальних впливів). У змістовному сенсі опис об'єкта дослідження в формі математичної моделі, у загальному випадку, повинен містити наступні компоненти і правила:

- 1) A – мету функціонування;
- 2) $E\{e_i\}$, $i=1, \overline{N}$ – множину елементів, які складають систему; $T\{t_\tau\}$ – множину моментів часу;
- 3) $P_i\{p_j\}$, $i=1, \overline{N}$, $j=1, \overline{T_i}$ – множину ознак, які характеризують систему в цілому на всіх етапах життєвого циклу;
- 4) $P_\xi\{p_\xi^j\}$ – множину ознак, які характеризують елементи на всіх етапах життєвого циклу;
- 5) $S^\tau\{s_i^\tau\}$ – множину станів елементів у розглянутий проміжок часу;
- 6) $H = S^\tau \times T$ – правило упорядкування зміни станів у ході досягнення мети;
- 7) $Q = \{e_i, e_k\}$ – множину зв'язків між усіма елементами системи;
- 8) $F: \{p_\xi\} = f_\mu(p_i^j)$ – математичні схеми, які описують відношення між ознаками елементів й ознаками систем;
- 9) $P_c\{p_c\}$ – множину ознак, які визначають взаємодію системи із середовищем. Система буде визначена, якщо визначені всі перелічені множини та правила б) і 8).

Множина цілей, ознак й елементів представлено у формі графів, а множина станів включає у себе визначений набір значень ознак системи, підсистеми або елементів у момент часу t_τ . Окремі елементи (або вся система) за розглянутий час t_0, t_k визначене число разів змінює свій стан. Один перехід складає елементарну операцію: $O_{m_0} = s^\tau > s^{\tau+1}$, де s^τ – стан; O_{m_0} – елементарна операція: $>$ - знак відношення порядку. Операція вважається визначеною, якщо для неї вказані: початковий стан s^p , кінцевий стан s^k , порядок зміни стану системи, який може бути описаний диференціальним рівнянням, ланцюгами Маркова, булевими функціями, функціями предикат.

Аналітичний зв'язок між системами, підсистемами (ξ_n і ξ_k) за ознакою p_i визначається у вигляді функції предикат: $g_i^{nk} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } p_i^n = p_i^k; \\ 0, & \text{якщо } p_i^n \neq p_i^k; \end{cases}$ або з урахуванням знаку ($-1, 0, +1$). Перехід від одного опису об'єкта до іншого визначається залежністю: $O_0 = \tilde{O}\tilde{P}_1 \Rightarrow \tilde{O}\tilde{P}_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow \tilde{O}\tilde{P}_i$ (O_0 – процес; $\tilde{O}\tilde{P}_1, \tilde{O}\tilde{P}_2, \dots, \tilde{O}\tilde{P}_i$ – опис об'єкта на різних етапах його дослідження).

Опис, який містить схемотехнічні (технічні) рішення, є концептуальним: $\tilde{O}\tilde{P}_2 = \{A_0, P_i\}$. Математичні моделі, котрі описують структурний стан, включають у себе множину елементів, які складають систему E , множину ознак, що характеризують елементи на всіх етапах життєвого циклу P_ξ і множину зв'язків між усіма елементами системи Q : $\tilde{O}\tilde{P}_4 = \{E, P_\xi, Q\}$. Ці ж моделі будуть динамічними, якщо містять моделі, побудовані на множині ознак, які визначають взаємодію системи із середовищем P_c , на множині моментів часу T_n , математичних схемах,

що описують відношення між ознаками елементів й ознаками системи: $\tilde{O}\tilde{P}_5 = \{P_c, T, F: (p_\xi^j = f_\mu(p_i^j))\}$. Параметричний опис об'єкта включає в себе множину ознак $\tilde{O}\tilde{P}_6 = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$.

Системотехнічні фактори й ознаки об'єкта дослідження включають у себе фактори: середовища, а також науково-технічної, економічної, соціальної ситуацій. Ці фактори визначають схемотехніку методів прогнозування якості динаміки функціонування об'єкта дослідження (табл. 2).

Таблица 2

Ознаки прогнозування

m/n	Б – Системні ознаки об'єкта					
	1	2	3	4	5	6
1	а, б, в, д	а – д	а, б	а	б, в	а, б
2	а, б, в, д	а – д	а, б	а, б	б, в	а, б
3	а, б, в	а – д	а, б	в, г	а, б	а
4	а, б	а – д	а, б	а, б, г	б, в	а
5	а	а	а	б	а, б	а
6	а, б, в, д	а – д	а	б	б, в	а
7	а, б, в, д	а	б	б	б, в	а, б
8	а, б, в, д	б – д	в, г	б	б, в	а, б
9	а, б, в, д	в, г, д	в, г	б	б, в	а
10	а, б, в	в, г, д	в, г	б	б, в	а
11	а, б, в, д	в, г, д	в, г	б	б	а
12	а, б	а	а	а, л	б	б
13	а	а	а, б	а, б	б, в	б
14	б	а, б	а – г	а, б, в	а, б, в	а, б, в
15	а	а, б	а – г	а, б, в	а, б, в	а, б, в
16	а	а, б	б	б	а, б, в	а, б, в
17	а	а, б, в	б, в, г	б, в	а, б, в	а, б
18	а, б	а, б, в	б, в, г	б, в	б, в	а, б
19	а, б	а, б	а – г	а, б, в	а, б, в	а, б, в
20	а – г	а, б	а – г	а, б, в	а, б, в	а, б, в
21	а – г	а, б, в	а – г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
22	б, в, г	а, б	а – г	а, б, в	а, б, в	б, в
23	а – г	а, б	б, в, г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
24	а, б	а, б	а – г	а, б, в	а, б, в	в, г
25	а, б, в	а, б, в	а – г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
26	а, б, в	а, б	а – г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
27	а, б, в	а, б, в	а – г	а, б, в	а, б, в	б, в, г
28	а – г	а	а – г	б, в	а	в, г
29	а – г	а	а – г	б, в	а	в, г
30	а, б, в	а, б, в	в, г	б, в	а	в, г
31	г	а, б	в, г	б, в	а	в, г
32	а, б, в	б, в	а, б	б, в	а, б	а, б, в
33	б, в	а, б	б, в, г	б, в	а, б, в	б, в, г

У табл. 2 позначено: **А** – методи прогнозного аналізу, а саме: 1 – математична апроксимація поліномами; 2 – екстраполяція за елементарними функціями; 3 – екстраполяція з дисконтуванням; 4 – функції із гнучкою структурою; 5 - екстраполяція за обвідними кривими; 6 – авторегресійні моделі; 7 – парні регресії; 8 - множинні регресії; 9 – компонентний аналіз; 10 – конфлюентний аналіз; 11 – екстраполяція факторів; 12 – біомоделі росту; 13 – біотехнічні аналогії; 14 – економічні аналогії за випереджувальною (у науко-

вому відношенні) країною; 15 – технічні прогнози за випереджувальною галуззю знань; 16 – аналіз динаміки патентування; 17 – аналіз публікацій; 18 – цитатно-індексні методи; 19 – коефіцієнт повноти й рівня техніки; 20 – індивідуальний експертний аналіз; 21, 22 – колективні експертні аналізи; 23 – історико-логічний аналіз; 24 – аналіз і висновки експертних комісій; 25 – морфологічний аналіз; 26 – метод синоптичної моделі; 27 – метод «Дельфі»; 28 – метод евристичного прогнозування; 29 – колективна генерація ідей; 30 – деструктивно-віднесені оцінки; 31 – динамічний концептуальний аналіз; 32 – квазіполітичні ігри; 33 – економічні ігрові моделі.

Б – системні ознаки об'єкта, а саме: 1 – природа об'єкта прогнозування, куди входять: а) науково-технічні (розвиток фундаментальних і прикладних досліджень, розвиток техніки, нові види техніки, технічні характеристики, винаходи та відкриття в галузі науки і техніки, нові матеріали, удосконалення технології, технологія «вищого рівня»); б) техніко-економічні (економіка ринкового господарства за галузями, розвиток і розміщення виробництва, промислові підприємства, техніко-економічні показники виробництва продукції, організаційно-економічні системи управління, освоєння нових видів продукції, фінансування виробництва); в) соціально-економічні (демографія, трудові ресурси, розміщення виробничих сил, освіта, національний дохід, попит, споживання); г) військово-політичні (міжнародні стосунки, небезпечні зони, військовий потенціал, стратегічний курс, військові конфлікти); д) природні (погода, довкілля, природні ресурси).

2 – масштабність об'єкта прогнозування (визначається числом змінних, які входять у повний опис об'єкта) а) сублокальні – з числом значущих змінних 1 – 3 (виробнича функція, траєкторія руху у тримірному просторі, робоче місце); б) локальні – з числом значущих змінних 4 – 14 (виробнича дільниця, матеріал, нескладний технічний пристрій); в) субглобальні – з числом змінних 15 – 35 (цех, попит на продукцію підприємства з відповідною номенклатурою); г) глобальні – з числом змінних 36 – 100 (підприємство, технічна система, наприклад, «піч - агрегат», транспортна мережа регіону (логістика)); д) суперглобальні – з числом змінних понад 100 (галузь, потужне підприємство, надскладна технічна система).

3 – ступінь взаємозамінності значущих змінних в описі об'єкта: а) надпрості (об'єкти з відсутніми істотними взаємозв'язками між змінними); б) прості (об'єкти, в описі яких містяться парні зв'язки); в) складні (об'єкти, в описі яких є парні та множинні зв'язки); г) надскладні (об'єкти, в описі яких необхідно враховувати взаємозв'язок всіх значущих змінних).

4 – ступінь детермінованості: а) детерміновані (об'єкти, у характеристиках яких випадкова складова неістотна); б) стохастичні (об'єкти, в описі яких необхідно враховувати випадкову складову змінних); в) випадкові (мають як детерміновані, так і стохастичні характеристики).

5 – характер розвитку у часі: а) дискретні (характеристики змінюються «стрибками»); б) аперіодичні (характеристики змінюються у вигляді аперіодичної безперервної функції); в) циклічні (характеристики змінюються у вигляді періодичної безперервної функції).

6 – ступінь інформаційної забезпеченості: а) об'єкти з достатньою кількісною ретроспективною інформацією; б) об'єкти з недостатньою для забезпечення заданої точності прогнозування кількісною ретроспективною інформацією; в) об'єкти, які мають тільки якісну ретроспективну інформацію; г) об'єкти з повною відсутністю ретроспективної інформації.

При проведенні аналізу методів прогнозного дослідження параметрів об'єкта за системними (класифікаційними) ознаками (табл. 2) і логічними зв'язками компонентів об'єкта (табл. 1) треба прийняти метод, який охоплює якомога більше число ознак, які характеризують об'єкт. Найуніверсальнішими з них є: математична апроксимація, колективне експертне опитування, екстраполяція, морфологічний аналіз.

Розв'язання статичної задачі здійснюється при умовах вимірювання головної ознаки (параметра в функції зміни факторів, які за умовою задачі знаходяться у межах генеральної сукупності досліджуваної зони варіації параметрів): $(p - \bar{p}) = b_1(\rho_1 - \bar{\rho}_1) - b_2(\rho_2 - \bar{\rho}_2) + \dots + b_p(\rho_p - \bar{\rho}_p)$, де \bar{p} – середньостатистична величина головної ознаки (параметра); $\bar{\rho}_i$ – середньостатистична величина факторів; ρ, ρ_i – конкретні значення головної ознаки й факторів.

Коефіцієнти b_i визначаються апроксимацією даних. Динамічна задача прогнозує поведінку головної ознаки у часі: $p = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_n t^n$, де t – час, b_i – коефіцієнти, які визначаються за апроксимаційними залежностями алгоритмів: спостережуваності, ідентифікованості, керованості, оптимізації, екстремального й адаптивного керування.

Елементи морфологічного аналізу застосовні як до еволюційного розвитку, так і до якісних змін на базі експертних оцінок: $\xi = N_c / n$, де ξ – ступінь збігів провідного експерта, n – загальне число висновків експертів, які приймаються як число характеристик.

Математичне очікування (середньостатистична величина) ступенів збігу за всіма експертами:

$$M(p) = \sum_{i=1}^{N_c} \xi_i / N_c, \text{ де } \xi - \text{ступінь збігу висновків експертів; } N_c - \text{число експертів.}$$

У цьому випадку висновки експерта повинен відповідати загальному «скоригованому» висновку інших експертів за умовою: $\Delta \underline{p} \leq M(p) \leq \Delta \bar{p}$, де $\Delta \underline{p}$, $\Delta \bar{p}$ – довірчі інтервали. Згідно з [6, 7] межа довірчого інтервалу $\Delta \underline{p} = 1$, $\Delta \bar{p} = 0,68$. Формальний метод визначення значущості характеристик використовує нормувальну функцію $\phi(i) = i / (2^i - 1)$; i – номер характеристики у ранжованій послідовності параметрів (характеристик).

Характеристики та позиції зводяться у матрицю (генеральну визначну) основних показників значущості ранжованої послідовності (табл. 3). У табл. 3 наведені значущості регуляторів потужності (рис. 2) комплексу електросталеплавлення за технологією «вищого рівня».

Значущість кожної позиції елемента матриці (табл. 3) визначається його порядковим номером, на підставі чого здійснюється аналіз перспективності того або іншого об'єкта (розвитку науки).

Таблиця 3

Матриця основних значущостей

Код (№ з/п)	Характеристики, позиції	Оцінки	
		базисні j	остаточні j _{ост}
	А. Схемотехнічна (інженерно-технічна) особливість технічного рішення (i = 1, φ(i) = 1)		
P ₁	Удосконалення окремих деталей існуючих конструкцій	1,0	1,0
P ₂	Удосконалення вузлів	2,0	2,0
P ₃	Удосконалення вузлів на новому рівні механізації й автоматизації	3,0	3,0
P ₄	Нове технічне рішення	4,0	4,0
P ₅	Принципово нове технічне рішення (яке має сенс відкриття)	5,0	5,0
	Б. Рівень обґрунтованості технічного рішення (i = 2, φ(i) = 1)		
P ₁	Обґрунтування технічного рішення виконано на рівні елементарних гіпотез	1,0	1,0
P ₂	Технічне рішення ґрунтується на аналогах	2,0	2,0
P ₃	Обґрунтування проведене на найпростіших теоретичних узагальненнях	3,0	3,0
P ₄	Технічне рішення ґрунтується на базі фізичних моделей	4,0	4,0
P ₅	Технічне рішення прийнято на підставі експериментальних досліджень і теоретичних узагальнень	5,0	5,0
	В. Надійність гірничо-металургійних машин (i = 3, φ(i) = 0,75)		
P ₁	Технічне рішення, яке не задовольняє усім 4-м складовим надійності (безвідмовність, довговічність, ремонтоздатність, схоронність)	1,0	0,75
P ₂	Технічне рішення задовольняє одній зі складових	2,0	1,5
P ₃	Те саме, двом складовим	3,0	2,25
P ₄	Те саме, трьом складовим	4,0	3,0
P ₅	Те саме, всім складовим	4,0	3,75
	В. Продуктивність комплексу (i=4, φ(i)=0,5)		
P ₁	Технічне рішення, яке не впливає на підвищення продуктивності праці	1,0	0,5
P ₂	Технічне рішення, яке приводить до деякого збільшення продуктивності, але пов'язане з додатковими витратами енергоресурсів	2,0	1,0
P ₃	Те саме, але не пов'язано з витратою додаткових енергоресурсів	3,0	1,5
P ₄	Істотне підвищення продуктивності, не пов'язане з додатковою витратою енергоресурсів	4,0	2,0
P ₅	Істотне підвищення продуктивності зі зменшенням витрати енергоресурсів	5,0	2,5
	Г. Виконання ергономічних вимог (i = 5, φ(i) = 0,31)		
P ₁	Технічне рішення не задовольняє вимогам ергономіки за всіма показниками (фізіологічним, психофізіологічним, антропометричним, гігієнічним)	1,0	0,31
P ₂	Задовольняються вимоги за одним з показників	2,0	0,62
P ₃	Те саме, за двома показниками	3,0	0,93
P ₄	Те саме, за трьома показниками	4,0	1,24
P ₅	Технічне рішення задовольняє всім вимогам ергономіки	5,0	1,55

Показники перспективності напрямку розвитку досліджень

Аналіз факторів (параметрів, підматриць) табл. 3 визначає перспективність зазначених елементів, серед яких найважливішими є: 1) коефіцієнт науково-технічної значущості об'єкта, техніки автоматизації:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n j_i \phi(i)}{\sum_{i=1}^n j_{\max} \phi(i)}$$
, де j_i – номер позиції, яка відповідає розглянутому об'єкту за характеристикою i; φ(i) – значущість i-тої характеристики; j_{max} – найбільший номер позиції за i-тою характеристикою; 2) зведене число патентів характеризує науково-технічний потенціал напрямку розвитку техніки на базі аналізу

патентів:
$$N_{np,n} = \sum_{k=1}^N \tau_k$$
, де τ_k – коефіцієнт інженерно-технічної значущості [14] об'єкта техніки за патентним джерелом; N – число розглянутих патентів за цим напрямком дослідження (у табл. 4 наведені величини прогнозної перспективності об'єкта за патентною інформацією).

Визначення цілей і план проведення досліджень

На базі факторів (табл. 1, 2, 3) при врахуванні даних (табл. 4) формуються цілі досліджень у формі графа в функції рівня значущості параметрів (табл. 3) (рис. 5).

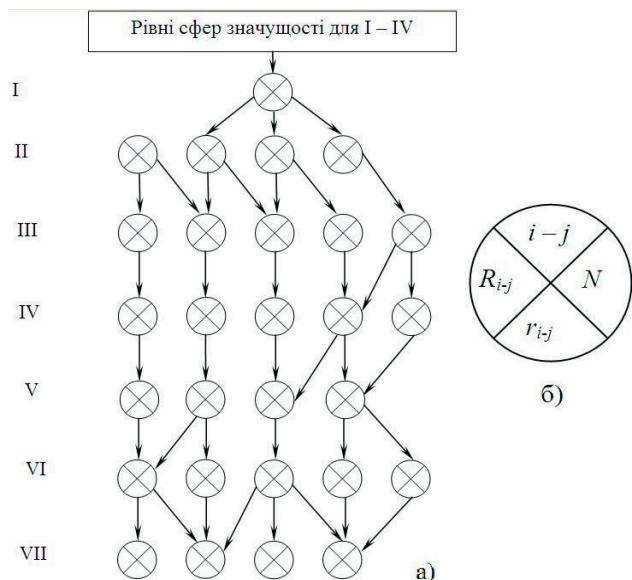


Рис. 5. Розподілення сфер значущості

На рис. 5, а позначено: рівні сфер науково-технічного оточення, а саме: I – інтереси всього суспільства (загальнолюдські, інтернаціональні); II – інтереси держави; III – інтереси галузі науки і техніки; IV – інтереси замовника; V – інтереси дослідницької організації (підприємства-розробника); VI – інтереси наукового підрозділу (відділу розробника); VII – інтереси дослідника (розробника); на рис. 5, б наведені позначення на вершинах графа: у верхніх секторах проставлені номери вершин $i - j$, $i \in I, II, \dots, j \in 1, 2, \dots$, де i – номер рівня, j – номер мети на i -му рівні; у нижніх секторах записані значущості цілей за їхньою питомою вагою на кожному рівні r_{i-j} . Коefіцієнт зв'язку визначається як сума добутків питомих ваг вершин графу (цілей), які входять у ланцюги на графі від вищого рівня до розглянутого, котрий завершується вершиною $(i - j)$: $K_{i-j} = \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^{i-j} r_{i-j}$; $\{n\}$ – ребра, що зв'язують розглянуту вершину з вище розташованими.

На підставі аналізу факторів оточення та розрахунку K_{i-j} за даними [7] розробляється план проведення досліджень.

На підставі положень з розробки комп'ютеризованих систем АСКТП (АСКВ) [7, 13] нова система може бути реалізована за 3 роки. За цей час істотних змін в електротехнології плавлення металів за технологією «вищого рівня» не передбачено і розроблений пристрій реалізуватиметься на базі існуючих системо- та схе-

мотехнічних факторів і рішень. На базі такого плану [6 – 10] побудований граф цілей (рис. 6):

Таблиця 4

Величини прогнозової перспективності об'єкта за патентною інформацією

τ	Прогнозна перспективність об'єкта за патентною інформацією
1,0 – 0,8	Дуже перспективний
0,79 – 0,6	Перспективний
0,59 – 0,4	Мало перспективний
0,39 – 0,2	Неперспективний

Рівень I – Цілі загальнолюдські, інтернаціональні: I-1 – тут, ураховуючи, що галузь застосування АСКТП (АСКВ), яка проектується, обмежується сферою діяльності металургійної галузі; інтереси держави (тим паче, всього людства) не враховуються, тому ціль I-1 відображає мету досліджень на рівні галузі – інтенсифікація виробництва на рівні електросталеплавиль-

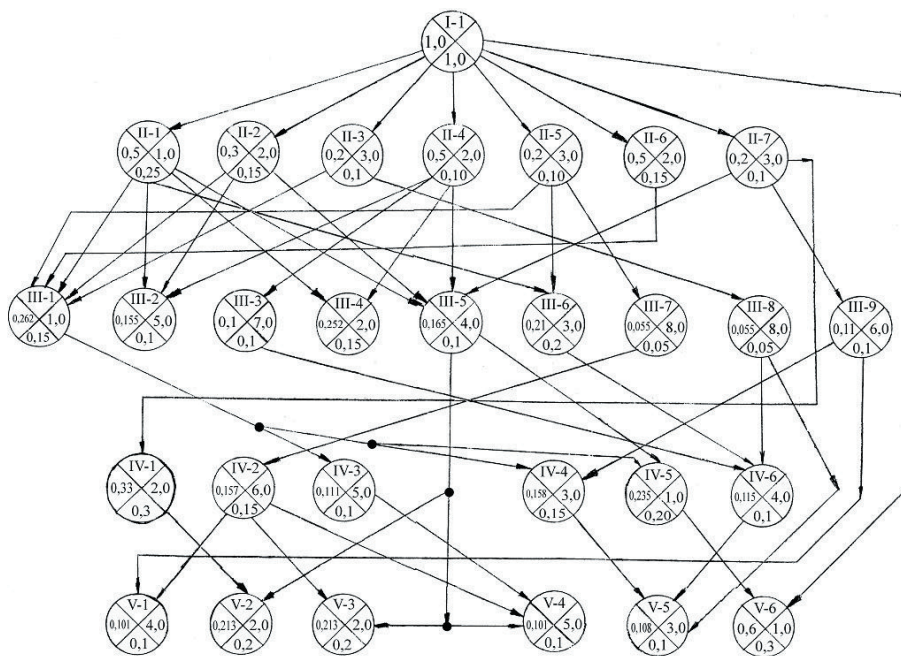


Рис. 6. Граф цілей дослідження (проекування) адаптивної АСКТП з елементами АСКВ електросталеплавильного агрегату за технологією «вищого рівня»

ного цеху.

Рівень II – Цілі на рівні підприємства (замовника): II-1 – зниження собівартості високоякісних сталей і прецензійних сплавів; II-2 – застосування нової техніки автоматизації та комп'ютерної техніки керування режимами роботи установок, машин і комплексів; II-3 – розповсюдження досвіду досліджень на інші процеси гірничо-металургійного комплексу; II-4 – своєчасне введення нової техніки на об'єктах; II-5 – підвищення матеріальної зацікавленості робочих і співробітників підприємства-замовника у результатах практичного використання розробки; II-6 – покращення умов праці експлуатаційного персоналу; II-7 – зниження витрат на впровадження нової техніки.

Рівень III – Цілі на рівні підрозділу, який проектує об'єкт: III-1 – розробка об'єктів нової техніки; III-2 – виконання обсягу досліджень (проекту) в установлені строки; III-3 – зниження обсягу дослідницьких (проектних) розробок; III-4 – забезпечення надійності виробу, що проектується; III-5 – забезпечення можливості виготовлення виробу, який проектується, на базі вітчизняних виробників; III-6 – забезпечення економічного ефекту за час директивного терміну використання нової техніки; III-7 – підвищення кваліфікації та наукового рівня дослідницького (проектного) персоналу; III-8 – використання та передача досвіду розробників інших підрозділів; III-9 – перспективність дослідницької (проектної розробки).

Рівень IV – цілі підрозділу-розробника (у цьому випадку в якості такого підрозділу розглядається кафедра електротехнічного напрямку технічного університету): IV-1 – залучення студентів до науково-дослідницької роботи і технічної творчості на реальних дослідницьких (проектних) розробках; IV-2 – підвищення наукової кваліфікації працівників кафедри; IV-3 – практична участь у розробках і створенні нової техніки; IV-4 – розширення й укрупнення наукових і творчих зв'язків з виробництвом; IV-5 – розширення обсягів практичного впровадження і застосування НДР і ДКР на виробництві; IV-6 – обмін науково-дослідницьким досвідом з іншими подібними кафедрами.

Рівень V – цілі особисті: V-1 – підготовка дисертаційних робіт магістрами, аспірантами, докторантами кафедри; V-2 – матеріальне заохочення за розробку та впровадження нової техніки; V-3 – моральне задоволення і заохочення від успішно виконаної роботи та її визнання; V-4 – отримання матеріалу для наукових публікацій; V-5 – отримання патентів на розробку; V-6 – особиста участь у процесах підвищення енерго- і техніко-економічної ефективності виробництва.

Значущості цілей на кожному рівні встановлені на підставі досвіду авторів цієї роботи й інших наукових колективів [4 – 11].

Визначення основних ознак об'єкта дослідження

Такими ознаками є характеристики його властивостей (якісні та кількісні). Основні підмножини ознак: показники призначення; категорії якості; показники технологічності, уніфікації і стандартизації, безпеки роботи й обслуговування, естетичності й ергономічності, патентної чистоти, умов експлуатації та ремонту, економічності. У цьому випадку цілі дослідження й ознаки об'єкта (рис. 6) вступають у бінарні відношення, на основі чого розробляється концептуальна модель, тобто опис зводиться до побудови підмножини ознак, елементи якої вступають у бінарні відношення з елементами вибраної підмножини цілей (A₀). Мовою математичної логіки це виражається наступним чином:

$$P_{0\text{дф}}((p)(Va) \cdot [(a \in \phi \Lambda a \in A_0)]) \quad (3)$$

При автоматизованому проектуванні виконання цієї процедури виконується на основі розв'язання

булевої матриці та здійснюється зріз всередині цих відношень за вибраною підмножиною A₀. Зазначені математичні процедури відносяться до алгоритмів морфологічного аналізу, сутністю якого є необхідність розчленування загальної функції об'єкта на частинні та пошук можливих способів їх реалізації.

У табл. 5 наведена узагальнена форма для розробки варіантів проектного (досліджуваного) об'єкта в формі матриці, у комірках якої записуються загальна функція об'єкта, частинні функції, засоби виконання частинних функцій.

Тут кожний рядок матриці відповідає варіанту технічного рішення $x_k = \Lambda_{i=1}^n u_{ij}$; $k=1, m$; $x_k \in X$; $u_{ij} \in u_i$, де x_k – елемент множини технічних рішень; X – повна множина рішень; u_{ij} – засіб j -го виконання функції i ; u_i – множина засобів виконання функції i . Одиниці у комірках на перетинанні рядків і стовпців матриці означають використання того або іншого засобу для виконання частинної функції у цьому варіанті рішення. Після обчислення u_{ij} і внесення у табл. 5 варіантів рішення загальна кількість сполучень способів виконання частинних функцій визначатиметься за співвідношенням: $N_B = \prod_{i=1}^n K_i$, де n – число частинних функцій; K_i – число засобів реалізації частинної функції.

Таблиця 5

Матриця розробки варіантів технічного рішення

Частинна функція u_1			Частинна функція u_2			Частинна функція u_3			Загальна функція
u_{11}	u_{12}	u_{13}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{31}	u_{32}	u_{33}	X
	1			1		1			x_1
		1					1		x_2
1			1			1			x_n

Прийняття оптимального рішення

Виконання цієї процедури, у загальному випадку, відбувається в умовах семіотичної неповноти оцінки маси, продуктивності, вартості (особливо в сучасних умовах), надійності, ергономічності, енергоефективності, естетичності та інших параметрів, тобто порівняння варіантів здійснюється за декількома шкалами. Крім того, ознаки нерівнозначні та суперечні. Виходячи з цих міркувань, інформації графу цілей адаптивної АСКТП (АСКВ), матриці основних значущостей елементів рішень (табл. 3) проводиться узагальнена постановка вирішуваного завдання побудови алгоритмічної структури автоматизованої системи керування електричним режимом (АСКЕР) й АСКТП: при цьому:

- 1) Встановлюється, що кожен варіант технічного рішення оцінюється за найзначущими параметрами: p_j , $j=1, n$.
- 2) Оцінка варіантів здійснюється за сукупністю критеріїв: $V = \{v_i\}$, $i=1, m$.
- 3) В якості критеріїв приймаються ознаки (табл. 3), які відповідають найважливішим цілям. У такій постановці прийняття рішення здійснюється на базі

розробки математичних моделей і законів адаптивного керування безперервними (квазібезперервними) технологічними процесами, інформаційних підходів моделювання «складних» систем з багатокритерійною оптимізацією, де одночасне досягнення оптимуму за всіма прийнятими до розгляду критеріями практично неможливо, тобто необхідно прийняти до аналізу компроміс (з вирівнюванням критеріїв або вибором з них найголовнішого), таким чином завдання зводиться до квазіоднокритерійного на базі наступних принципів: рівномірності, справедливої поступки, виділення найголовнішого критерію, послідовної поступки [7, 16], а саме: а) рівність усіх критеріїв: $\text{opt } V = \text{opt } V_i = \{\bar{v}_1 = \bar{v}_2 = \dots = \bar{v}_k\} \in \Omega_V^k$, де Ω_V – відображення зони можливих технічних рішень у просторі V ; Ω_V^k – підмножина критеріїв, зв'язаних з компромісом; \bar{v}_k – оптимальне значення елемента множини критеріїв; б) «підтягування» найгіршого з критеріїв: $\text{opt } V = \max \min v_i$; в) квазірівність критеріїв (рівності з допустимою похибкою). На практиці можливі й інші умови рівномірності критеріїв.

Принцип справедливої поступки базується на умові, що, якщо сумарний абсолютний рівень зниження одного (або кількох) критерію не перевищує сумарного абсолютного рівня підвищення інших критеріїв, то ця умова забезпечує $\text{opt } V = \max \sum_{i=1}^k v_i$.

Відносна поступка забезпечує справедливий компроміс при переході до аналізування за різними критеріями (відносної уступки): $\Delta_{\text{відн}} = \sum_{i=1}^k \frac{v_i - \bar{v}_i}{v_i} \leq 0$, де $\Delta_{\text{відн}}$ – сумарна відносна уступка. В теорії прийняття рішень оптимальне рішення, визначене за сумарною відносною уступкою, представляється мультиплікативною функцією $f_M = \prod_{i=1}^k \bar{v}_i$ при досягненні максимуму з області можливих компромісних рішень виду $\text{opt } V = \max \prod_{i=1}^k v_i$.

Принцип виділення найголовнішого критерію (принцип зведення багатокритерійної задачі до квазіоднокритерійної) дозволяється за умовою $\text{opt} = \max v_1$; $v_1 \geq v_i^3$ (v_i^3 – заданий критерій); $i = 2, k$.

Сумарна відносна уступка, як відносна величина, виражається у формі нормалізованого вектору критеріїв: $\bar{V}^H = \{v_i^H\} = \{v_i/v_i^u\}$, $i = \overline{1, k}$; \bar{V}^H – нормалізований вектор критеріїв; v_i^u – компоненти ідеального вектора; $\bar{V}^u = \bar{V}^3 = \{v_i^3\}$; $i = \overline{1, k}$; v_i^3 – задана величина компонент. За компоненти вектора \bar{V}^u можуть бути прийняті їхні можливі максимальні величини: $\bar{V}^u = \{\max v_i\}$, $i = \overline{1, k}$, а також можливо максимальний «розкид» за кожним локальним критерієм: $v_i^u = \max v_i - \min v_i$, а також інші.

На базі викладеного для реального випадку будується вектор пріоритетності $\bar{c}_n = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$, а на його основі значущий вектор, компоненти якого повинні задовольняти умові: $\left\{ 0 \leq \lambda_i \leq 1; i \in \overline{1, k}; \sum_{i=1}^k \lambda_i = 1 \right\}$. Величина λ_i може коригуватися за співвідношенням:

$$\lambda_i = \prod_{i=q}^k c_i / \sum_{i=1}^k \prod_{i=k}^k c_i \text{ або за нормувальною функцією:}$$

$$\lambda_i = \frac{i}{2^{i-1}} / \sum_{i=1}^k \frac{i}{2^{i-1}}.$$

Алгоритм вибору оптимального рішення в умовах багатокритеріальної задачі найраціональніше здійснювати на підставі матриці рішень [17] на базі компромісу, побудованого за принципом справедливої поступки (табл. 6).

У табл. 6 позначено: у верхньому рядку матриці розміщуються критерії із зазначенням важливості кожного з них, у лівому стовпці – номери варіантів. Комірки матриці розбиваються на дві частини (дві підматриці). У верхній відображається оцінка варіанта за кожним локальним критерієм, а у нижній – добуток оцінки на коефіцієнт значущості. Після цього всі варіанти розглядаються послідовно. Оптимальним варіантом при пошуку його за матрицею буде критерій, який відповідає умові: $\bar{x} = \max \sum_{i=1}^k v_i^o \lambda_i$; $v_i^o \in \{1, 2, \dots, N\}$; $\bar{x} = \max \tau$. Якщо оптимальними будуть кілька варіантів, то треба провести уточнення оцінки варіантів на підставі додаткової інформації за результатами цільових досліджень.

Таблиця 6

Матриця рішень

	\tilde{v}_1 λ_1	\tilde{v}_2 λ_2	\tilde{v}_3 λ_3	...	\tilde{v}_k λ_k	$\sum_{i=1}^k v_i \lambda_i$	Місце
	v_1	v_2	v_3	...	v_k	$\sum_{i=1}^k v_i \lambda_i$	1
	$v_1 \lambda_1$	$v_2 \lambda_2$	$v_3 \lambda_3$	...	$v_k \lambda_k$		
X_2				...		...	...
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
X_m				...		...	...
X_n				...		...	...

Вибраний варіант рішення оцінюється за критерієм енергоекономічності, який забезпечує зниження вартості продукції: $\sum_{j=1}^{Z_H} Q_j G_{Tj} \rightarrow \min$, де Z_H – кількість типів кінцевої продукції (для розглянутого випадку – кількість марок високоякісної сталі та прецизійних сплавів чорних і кольорових металів); Q_j – обсяг виробництва продукції j-го виду; G_{Tj} – вартість одиниці продукції j-го виду. Економічний ефект від виробництва і практичного використання нових і модернізованих комплексів за час їхньої служби з урахуванням реального зносу. В якості таких показників ефективності служать окремі параметри зниження

трудомісткості продукції, зростання продуктивності праці, вивільнення частини фізичної праці, зниження матеріалоемності, енергоємності тощо виходячи з указаних міркувань згідно з [3] економічний ефект може бути визначений за співвідношенням:

$$E = \left[3_1 \frac{B_{b2}}{B_{p1}} \cdot \frac{P_{A1} + E_n}{P_{A2} + E_n} + \frac{(u_1 - u_2) - E_n (K_2 - K_1)}{P_{A2} + E_n} - 3_2 \right] A_{p2},$$

де: $3_1, 3_2$ – зведені витрати на одиницю продукції, обумовлені виробництвом базового (існуючого та нового засобу); B_{p1}, B_{p2} – річні обсяги робіт при використанні базового і нового засобу; P_{A1}, P_{A2} – частки амортизаційних відрахувань від балансової вартості на відновлення базового й нового засобу автоматизації; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності; u_1, u_2 – річні експлуатаційні витрати споживача при використанні базового й нового засобу; K_1, K_2 – капітальні вкладення споживача при використанні базового й нового засобу у розрахунку на обсяг робіт з отримання нового засобу; A_{p2} – річний обсяг виробництва нових засобів.

При техніко-економічній оцінці корисності й ефективності варіантів рішень треба враховувати їх конкурентоспроможність, варіанти, які не мають сенсу в їх реалізації відсіюються. Одним з правил відсіву таких варіантів рішень є правило монотонної рекурсивності [17], яке застосовується при розв'язанні завдань дискретної оптимізації при покроковій реалізації варіантів: $u_i = \{u_{ij}\}, j=1, K_n$, тобто керувальним впливом буде той або інший засіб для реалізації i -ї частинної функції, а повна множина рішень складає декартовий добуток множин $X = \prod_{i=1}^n u_i$. Кількість елементів множини X визначається числом $N = \prod_{i=1}^n k_i$. Кожен з них представляє можливе рішення $x_i = \{u_{i(k1)}, \dots, u_{i(ki)}, \dots, u_{i(kn)}\}$. При $\bar{x}_i \in X$, як оптимальним технічним рішенням, яке відповідає мінімуму цільової функції $\min f\{u_{i(k1)}, \dots, u_{i(ki)}, \dots, u_{i(kn)}\}$ при обмеженнях $g_p(u_{i(k1)}, \dots, u_{i(ki)}, \dots, u_{i(kn)}) \leq g_p^*$, де f, g_p ($p = 1, 2, \dots, q$) – довільні функції дискретного аргументу, звідки можливі рішення вважатимуться допустимими, якщо задовольнятимуть цій умові.

Наступні дослідження необхідно здійснювати у напрямку застосування комп'ютерних адаптивних систем керування й автоматизації безперервними (квазібезперервними) технологічними процесами електromеталургії високоякісних сталей і прецизійних сплавів.

Для розвитку зазначеного напрямку заплановано розв'язання таких завдань: теоретичне обґрунтування загальносистемних підходів до розв'язання завдання адаптивного керування технологічними процесами на базі методів побудови регресійних моделей; розробки системотехніки адаптивних систем керування з ідентифікатором у колі зворотного зв'язку; дослідження гнучкості керування на основі адаптивного ідентифікатора пошукового типу; розробки алгоритмічної структури адаптивних систем керування зі стратегічним ідентифікатором; теоретичної розробки адаптив-

них систем керування з безпошуковим ідентифікатором; розробки та практичної реалізації адаптивних систем керування з еталонною моделлю.

Формальна постановка вказаного завдання у цьому випадку зводиться, як правило, до розв'язання систем лінійних (лінеаризованих) і нелінійних інтегро-диференціальних рівнянь на базі одно- та багатопроцесорної фон-Неймановської ЕОМ. Зараз вони отримали розвиток у формі ЕОМ (контролерів) з багаторівневим паралелізмом (нейрокомп'ютери) та їх введенням у контур керування нелінійної динамічної системи [18].

Питання технології нейронного керування на базі нейроморфних структур керування, алгоритмів інверсно-прямого керування, ефективного оперативного керування за помилкою зворотного зв'язку розв'язувалися на базі нелінійного контролера для нейронної мережі. Такі контролери реалізовані на основі схем нейронного керування з самонастроюванням і ПД-нейроконтролерів із самоналагоджуванням. Математичні алгоритми динаміки нейронних систем базуються на співвідношеннях нейрона [12 – 16]: $net_j = \sum W_{ji} Q_i + Q_j$; $Q_j = f(net_j)$ (net_j – вхідний сигнал j -го контуру, Q_j – сигнум функція збурення, функція знаку $f(X) = \text{sign } x = \begin{cases} 1 & \text{при } x > 0, \\ 0 & \text{при } x < 0. \end{cases}$ Для виходу така функція є сигмоїдною за Mc Culoch and Pitts [12]). Функція $f(x) = \text{sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x/T)}$, $T > 0$, T – період дискретизації. Оптимізація процесу проводилася на підставі методу найшвидшого спуску [13, 14] за алгоритмом:

$$\begin{aligned} \delta_x &= \frac{\partial E}{\partial l} \cdot \frac{\partial l}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial net_y} = e \frac{\partial y}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial net_y} = ef'(u) f'(net_y) = \\ &= ef'_p(u) u(1-u) = \frac{\partial E}{\partial net_x} \cdot \frac{\partial net_x}{\partial Q_j} \cdot \frac{\partial Q_j}{\partial net_y} \cdot \frac{\partial net_y}{\partial u}; \\ \partial u &= \partial[r(t) - y(t)]. \end{aligned}$$

(r, x, y – координати енергопотоків E, Q_i, Q_j, W).

Питання нейроморфного навчання нейроконтролера розв'язувалися на підставі методики Куо Y.H., Као C.I. [15] та Yusof R. [16].

Висновок

Проведення дослідження та визначення математичних залежностей динамічного функціонування нейрокомп'ютерних систем регулювання координат електросталеплавильного комплексу й АСКТП були реалізовані в умовах спеціальної електротехнічної лабораторії електromеталургійного заводу „Дніпро-спецсталь” та комп'ютерної бази Запорізького національного технічного університету. Економічна оцінка результатів здійснених досліджень та використання техніко-економічного обґрунтування раніше проведених робіт за цим напрямом [6, 7, 8] показують, що

реалізація отриманих результатів в умовах діючого виробництва електрометалургійного заводу забезпечить зниження споживання: електроенергії на 8 %,

природного газу на 6,5 %, коксового і колошникового газу на 9,3 %, кисню на 4,7 %, аргону на 5,07 %, коксу на 3,54 %.

Література

- 1 Зеркалов Д.В. Правова основа енергозбереження: Довідник. – К.: Дакор, 2008. – 480 с.
- 2 Эффективное энергоиспользование и альтернативная энергетика /
- 3 А.Н. Криволапов, И. Класе, Э.П. Островский, В.Ф. Резцов, И.И. Стоянова; Под ред. А.К. Шидловского. – Киев: Українські енциклопедичні знання, 2000. – 302 с.
- 4 Методика визначення неефективного використання паливно-енергетичних ресурсів М-000 13184.0.022-01 від 14.12.2001 р. – Київ: Держкоменергозбереження, 2009. – 219 с.
- 5 Проектування і обладнання електросталеплавильних і феросплавних цехів [Текст] / Гладких В.А., Гасик М.І., Овчарук А.М., Пройдак Ю.С. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2004. – 692 с.
- 6 Ванько В.И., Вариационное исчисление и оптимальное управление [Текст] / В.И. Ванько, О.В. Ермошкина, Г.Н. Кувыркин – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Батмана, 2001. – 488 с.
- 7 Лозинський О.Ю. Системи керування режимом дугових сталеплавильних печей на основі ймовірнісних моделей процесів. – Дис. ... докт.техн.наук. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 1996. – 367 с.
- 8 Труфанов И.Д. Системы оптимизации режимов работы мощных дуговых сталеплавильных печей на основе интегрального критерия энергосбережения. Дисс. ... докт.техн.наук. – Запорожье: Запорожский национальный технический университет, 2001. – 530 с.
- 9 Паранчук Я.С. Багатокритеріальна оптимізація режимів електротехнологічного комплексу «дугова піч – електропостачальна мережа». – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2006. – 375 с.
- 10 Марущак Я.Ю. Синтез електромеханічних систем на основі узагальненого характеристичного полінома. – Дис. ... докт.техн. наук. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2002. – 353 с.
- 11 Гудим В.І. Методи та засоби керування режимами систем електропостачання дугових сталеплавильних печей. – Дис. ... докт. техн.наук. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2002. – 341 с.
- 12 Гуль А.И. Параметрическая оптимизация многокритериальных интегрирующих электромеханических систем по максимальной добротности и запаса стойкости. – Харьков: НТУ «Харьковский политехнический институт», 2004. – 485 с.
- 13 Zurada J.M. Computational Antelligence Imitating Life [Текст]/ J.M. Zurada, R.J. Marks, C.J. Robinson – New York: IEEE Prese, 1994.
- 14 Rad A.B., Explicit PID self-tuning control for systems with unknown time-delay [Текст] / A.B. Rad, P.J. // Ganthrop Proc. Of IFA-CInt. Symposium on Intelligent Tuning and Adaptive Control, Singapore, – 1991.
- 15 Bitnead R.R., Adaptive Optimal Control [Текст] / R.R. Bitnead, M. Covers, V. Wertz; Prentice-Hall, Australia Pty Ltd., 1990.
- 16 Kuo Y.H., A fuzzy neural network model and its hardware implementation [Текст] / Y.H. Kuo, C.I. Kao, J.J. Chen // IEEE Trans. on Fussy Systems. – 1993. – Vol. 1. – p.p. 171 – 183.
- 17 Yusof R. Theory and applications of self-tuning PID control and generalized predictive control, Ph. D. Thesis, University of Tokushima, Japan, 1994.
- 18 Холл А. Опыт методологии для системотехники [Текст] / Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 324 с.
- 19 Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. Нейроуправление и его приложения [Текст] / Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф: пер. с англ. – М.: ИПРЖР, 2000. – 272 с.