

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

СТЬОПКІН ВАСИЛЬ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 681.513.54



**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПРОЦЕСУ НАГРІВУ МЕТАЛА У МЕТОДИЧНИХ ПЕЧАХ**

Спеціальність:

05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі електротехніки та електропривода Національної металургійної академії України Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Качан Юрій Григорович

Запорізька державна інженерна академія Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри енергетичного менеджменту.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Моркун Володимир Станіславович

Криворізький технічний університет Міністерства освіти і науки України, начальник науково-дослідної частини;

доктор технічних наук, професор

Кочура Євгеній Віталійович

Національний гірничий університет Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ), завідувач кафедри економічної кібернетики і інформаційних технологій.

Захист відбудеться «27» 05 2010 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Національному гірничому університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027 м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного гірничого університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19.

Автореферат розіслано «26» 04 2010р.

Вчений секретар спеціалізованої



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Методичні печі є крупними споживачами газоподібного палива. На нагрів металу перед обробкою тиском витрачається до 9% палива, яке споживається підприємствами з повним металургійним циклом. З них за теплою 43% складає природний газ, 26% – коксовий і 31% – доменний. З огляду на концепції реформування ринку природного газу, які передбачають поступове обмеження лімітів його споживання великими промисловими підприємствами, а ціна додаткового газу, що поставляється в цей час незалежними постачальниками може перевищувати регульований тариф, установлений органами виконавчої влади більш ніж в 1,5 рази, стає очевидною необхідність розробки інноваційних підходів до керування зазначеними печами.

В історії автоматизації нагрівальних печей можна відзначити такі періоди. До середини п'ятдесятих років основна увага приділялась локальним системам регулювання, і проведені роботи були направлені головним чином на покращення характеристик обладнання, що використовувалось. У зв'язку з відносно невеликою вагою нагрівальних заготовок і невисокими вимогами до якості прокатної продукції та низькими цінами на паливо не було потреби у складних системах керування нагрівальними печами.

Підвищення вимог до якості прокатної продукції поставило задачі створення систем керування, у яких би автоматично змінювався режим роботи нагрівальних печей при зміні режиму роботи прокатного стану. Вирішення цих задач призвело до створення каскадних систем, у яких завдання локальним регуляторам зон печі автоматично змінювались у залежності від ряду режимних параметрів роботи печі. Побудова таких систем дозволила реалізувати прості алгоритми керування.

У цей період проф. М. А. Глінковим була створена загальна теорія печей, в рамках якої була розроблена класифікація теплових режимів нагрівальних агрегатів. Дослідження нагрівальних печей як об'єктів керування дозволили визначити статичні і динамічні взаємозв'язки витрат палива по зонам печі і температур в цих зонах, взаємовплив зон печі і т.д.

Зраз наступив період у автоматизації нагрівальних печей, відповідаючий створенню високовиробничих прокатних станів, на яких прокатуються заготовки вагою 30т. і більше, підвищенню вимог до прокатної продукції, а також стрімкому розвитку обчислювальної техніки, що призвело до можливості вирішення складних задач керування, які висунула технологія нагріву і прокатки. У цей період з'явилися нові технологічні агрегати, такі як печі з крокуючими балками (з крокуючим подом). Зміна схеми опалення в таких печах, а також режиму пересування металу у порівнянні з штовхаючими методичними печами поставило нові задачі керування, аналоги вирішення яких практично відсутні у літературі.

Значний внесок у розвиток автоматичних систем керування нагрівальними газовими печами внесли А. Л. Малий, Л. І. Буглак, І. Б. Вольфман, А. Г. Бутковський, З. Є. Круашвілі, В. Б. Файн, М. Д. Клімовицький, Ю. Г. Каганов, О. М. Бінов, Г. М. Глінков, Б. М. Плевако, Ю. Н. Андреев, Л. Г. Гозенбук, А. П. Копелович,

В. А. Шостак, Е. Н. Кульпа, І. Н. Зінченко, В. Л. Бровкін, В. А. Вехнік, І. І. Лаврентик та інші.

Виходячи з сказаного вище, зараз необхідно знайти більш перспективні та ефективні методи при побудові автоматичної системи керування таким динамічним об'єктом як нагрівальна піч, що забезпечує оптимальний режим її роботи, з метою зниження питомих витрат природного газу при стабілізації якості продукції, що видається. На теперішній час такі методи базуються на досягненнях сучасних інформаційних технологій, зокрема інтелектуальних систем прийняття рішень. Значний внесок у розвиток подібних систем внесли В. А. Воронов, Я. З. Ципкін, А. Л. Горелік, Ю. Г. Качан, В. С. Моркун, Є. В. Кочура і інші.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.

Дисертаційна робота виконана згідно з напрямом державної програми «Розробка концепції створення інтелектуальних систем прийняття рішень». Робота проводилася відповідно до договору №0442 ТОВ «Азовгіпромез» з ВАТ ППКІ «Металлургавтоматика», в рамках виконання проектів на теми: «Інформаційна система супроводу при транзитній прокатці «Слябінг 1150 – ЛПЦ1700»» і ««ВАТ «Маріупольський меткомбінат ім. Ілліча». Автоматизована система керування технологічним процесом (АСК ТП) нової нагрівальної печі №1». Матеріали дисертаційної роботи відповідають гошбюджетній роботі № гос. реєстр. 0106U002217 «Розробка нових способів високотемпературного спалювання палива й утилізації продуктів горіння в теплових агрегатах металургії», яка виконувалася з 01.01.2006 по 31.12.2008 в Національній металургійній академії України.

Мета і завдання дослідження – розробка й випробування комплексу нових науково-технічних і алгоритмічних рішень, що дозволяють створити енергозберігаючу автоматичну систему керування процесом нагріву металу в методичній печі.

Для досягнення постановленої мети в дисертації були вирішені наступні задачі:

1. Проведено дослідження процесу нагріву металу з позиції керування, проаналізовані відомі системи керування ним.
2. Виконаний аналіз можливості використання методу динамічної оптимізації для керування процесом нагріву металу.
3. Розроблена і перевірена на адекватність технологічна модель методичної печі, придатна для проведення обчислювальних досліджень ефективності алгоритмів керування.
4. За методом планованого експерименту розроблена динамічна модель процесу нагріву металу, яка придатна для використання в алгоритмі динамічної оптимізації.
5. За методом динамічного програмування синтезований алгоритм оптимізації процесу нагріву металу в методичній печі й проведено дослідження його ефективності.
6. Досліджена можливість одержання інтелектуальної динамічної моделі методичної печі для задач керування.
7. Розроблений інтелектуальний алгоритм оптимального керування динамічним об'єктом на прикладі методичної печі і проведені обчислювальні дослідження його ефективності.
8. Виконаний порівняльний аналіз ефективності алгоритмів оптимального керування методичною піччю на базі методів динамічного програмування й інтелектуального

керування, і прийнята технічно й економічно обґрунтована пропозиція щодо їхнього використання.

9. Досліджена можливість і запропонований засіб підвищення керованості методичної печі.

Об'єкт дослідження – процес нагріву металу в методичних печах.

Предмет дослідження – енергозберігаюча система автоматичного керування процесом нагріву металу в методичній печі.

Методи дослідження. У роботі використані: методи математичної статистики, моделювання при побудові й ідентифікації параметрів імітаційної моделі; метод планованого експерименту при розробці динамічної моделі процесу нагріву металу; методи динамічного програмування, розпізнавання й прогнозування при розробці алгоритмів оптимального керування процесом нагріву металу.

Наукові положення:

1. Врахування у методі розпізнавальної оптимізації часового фактору у складових вектора стану об'єкту шляхом збільшення його розмірності дозволяє, на відміну від методу динамічного програмування, розробити алгоритм керування процесом нагріву металу у методичних печах, інваріантний до кількості інформаційних каналів та критерію керування.

2. Збільшення кількості нагрівальних зон у методичній печі шляхом подачі теплового навантаження до рекуперативної зони у частині від його сумарного значення, що відповідає найбільш ефективній роботі рекуператора, підвищує керованість печі і забезпечує додаткове зменшення витрат природного газу.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Дослідження ефективності алгоритмів оптимального керування процесом нагріву металу стало вперше можливим на розробленій імітаційній моделі методичної печі з крокуючими балками.

2. Вперше визначена область застосування методу динамічного програмування в алгоритмі оптимального керування процесом нагріву металу в методичних печах за кількістю керуючих факторів.

3. Вперше, з метою керування методичними печами розроблений алгоритм динамічної розпізнавальної оптимізації який відрізняється від відомого новим принципом формування керуючих впливів у часі, що використовує метод розпізнавання і дозволяє робити пошук оптимальних керувань за допомогою логіко-предикатної моделі об'єкта.

4. Вперше, виходячи з отриманої залежності сумарних витрат природного газу від їх частини у рекуперативній зоні, запропонований та обґрунтований додатковий керуючий вплив у вигляді зміни теплового навантаження останньої та встановлений інтервал його зміни, що забезпечує додаткове зменшення споживання природного газу.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується коректністю постановки і вирішення задач, використанням фундаментальних положень, апробованістю методів, теорій, результатів досліджень, застосуванням методів та засобів прикладної статистики.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Досягнута адекватність технологічної моделі методичної печі з похибкою 3% робить останню придатною для використання в задачах обчислювальних експериментів.

2. За допомогою алгоритму розпізнавальної динамічної оптимізації було досягнуто зменшення сумарних витрат природного газу на 11,4% до діючих нормативних показників, що краще результатів отриманих методом динамічного програмування.

3. Використання у алгоритмі верхнього рівня САК процесом нагріву металу методу розпізнавальної оптимізації, робить його придатним для керування будь-якими методичними печами.

4. Додаткове зменшення, при застосуванні пальників у рекуперативній зоні методичної печі, сумарних витрат природного газу на 10,4% свідчить про доцільність застосування запропонованого енергозберігаючого режиму нагріву металу.

Впровадження результатів роботи. Розроблену імітаційну модель методичної печі з крокуючими балками, придатну для проведення на ній розрахункових досліджень і програмну реалізацію алгоритму розпізнавальної динамічної оптимізації процесу нагріву металу передано для використання в проектних роботах ВАТ ППКІ «Металургавтоматика» (м. Дніпропетровськ), що підтверджено відповідним актом.

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно сформульована мета, задачі, обрані методи дослідження. Основні наукові результати, висновки і рекомендації отримані і сформульовані автором самостійно. Здобувач брав участь у проведенні експериментальних досліджень, упровадженні результатів роботи в промисловість.

Апробація результатів дисертації. За основними положеннями дисертаційної роботи зроблені доповіді на міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані технології й енергозбереження ГТЕ-2007» (Крим, Алушта, 11-16 травня 2007г.), на щорічній науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів Запорізької державної інженерної академії (м. Запоріжжя, ЗДІА, 2009р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 13 наукових праць, у тому числі 11 в наукових спеціалізованих журналах, 2 у матеріалах міжнародних і науково-технічних конференцій.

Структура дисертації. Робота складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків; викладена на 210 сторінках і містить 30 рисунків, 12 таблиць та 7 додатків. Список використаних літературних джерел включає 111 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, наведений зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Викладені новизна, практична цінність і реалізація одержаних результатів. Зазначений особистий внесок здобувача, наведені результати апробації отриманих результатів і публікацій.

У першому розділі дисертації проаналізований стан питання, щодо керування процесом нагріву металу у методичних печах. При виконанні аналізу конструктивних особливостей і складу методичних печей виявилось, що найбільш перспективно розглянути методичну піч із крокуючими балками, в умовах ЛПЦ-1700 ММК ім. Ілліча,

оскільки в ній забезпечується більш висока якість нагріву металу в порівнянні з аналогами і більше можливостей з керування, яке здійснюється у часі шляхом зміни витрат наявного палива в пальниках. Враховуючи велику кількість і різноманітність методичних печей, у тому числі і на ММК ім. Ілліча, проблема скорочення споживання природного газу стає ще більш актуальною.

При виконанні аналізу математичних методів, що використовуються для побудови систем керування подібними об'єктами у дисертаційній роботі був обраний метод динамічного програмування. Аналіз теперішнього стану питань з керування методичними печами дозволив зробити висновок, що існуючі підходи призводять до необхідності проектування систем керування кожного об'єкту окремо.

Таким чином, питання керування таким об'єктом як методична піч з метою зниження енерговитрат необхідно вирішувати за новими підходами, які дозволяють створювати інтелектуальні системи. Необхідною ж універсальністю володіє метод розпізнавальної оптимізації, який до теперішнього часу на динамічних об'єктах не використовувався.

У розділі сформульована мета та задача досліджень.

У **другому розділі** дисертаційної роботи обрана структура математичної моделі методичної печі, яка враховує усі параметри об'єкту, важливі з позиції керування.

Структура моделі зображена на рис. 1 і представлена нелінійною функцією $\vec{Y} = A(\vec{X}, \vec{Z}, \vec{B})$.



Рис. 1. Структура математичної моделі методичної печі для задач керування,

де: L_i, B_i, H_i - довжина, ширина і висота робочого простору i -ої зони печі;

$L_\phi, S_\phi, H_\phi, L_\delta, S_\delta, H_\delta$ - довжина, товщина і висота завантажувального

та розвантажувального вікон печі; $L_\psi, H_\psi, L_\epsilon, H_\epsilon$ - ширина та висота інспекційних

і тих, що використовуються для видалення окалини люків; $S_n, S_n, S_i, S_e, S_\epsilon$ - товщина

кладки стін, своду, поду, інспекційних і люків для видалення окалини; t_w^j, t_E^j, t^j -

температура західної, східної сторін і своду печі, де j - номер вимірювального пристрою;

t_a, t_ϕ - температури навколишнього середовища та металу, що завантажується; Q_i^δ - нижча

теплота спалювання палива; Ψ_ϕ, Ψ_δ - тривалість часу на протязі якого відкриті

завантажувальне та розвантажувальне вікна печі

Тут A – нелінійний вектор-оператор, структура якого визначається у процесі моделювання; X, Z - вектори керуючих і збуджуючи впливів; B - вектор конструктивних параметрів; Y - вектор вихідної змінної величини. За вхідні змінні взяті витрати наявного палива у пальниках у i -их зонах печі b_i , вихідної – сумарні витрати природного газу b .

Порядок розрахунку процесу нагріву металу на базі відомої інженерної методики зображений на рис.2. Для заданої партії слябів модель формує масив розрахункових даних, які у подальшому використовуються у алгоритмах оптимального керування процесом нагріву металу.

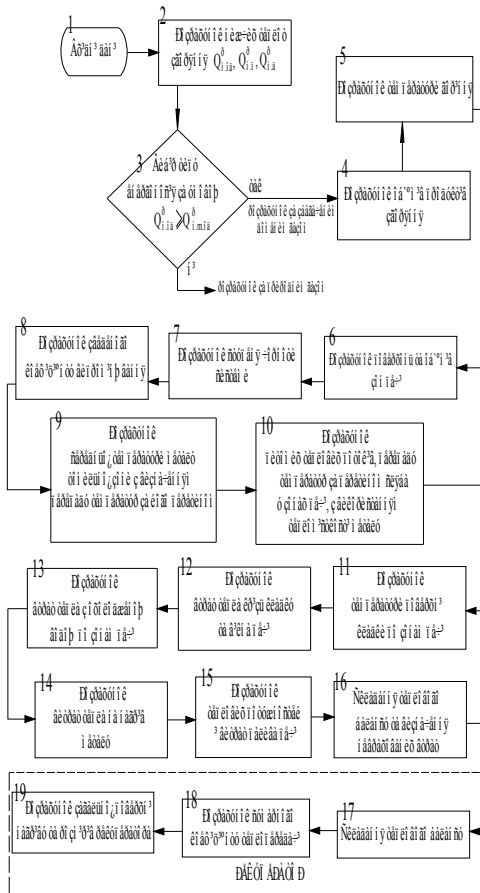


Рис.2. Розрахунок процесу нагріву металу

Перевірка адекватності моделі здійснювалась відповідно даним щодо умов ЛПЦ-1700 ММК ім. Ілліча, які є у розпорядженні ВАТ ППКІ «Металургавтоматика». Похибка прогнозу складала 3%.

У третьому розділі синтезований алгоритм оптимізації процесу нагріву металу на основі методу динамічного програмування і перевірена його ефективність.

Враховуючи те, що у процесі керування необхідно забезпечити мінімізацію витрат природного газу, то динамічна модель процесу нагріву металу у методичній печі представлена у вигляді полінома залежності температури металу t_i на кожному кроці керування як функції сумарних витрат наявного палива по зонам і їх передісторії.

Для здійснення керування весь процес нагріву металу поділений на 5 рівнів за довжиною печі кроків, відповідних кількості віртуальних зон печі, з вимірюванням на кожному кроці температур (кроки №1, 5, 8, 11 і 13 на рис.3).

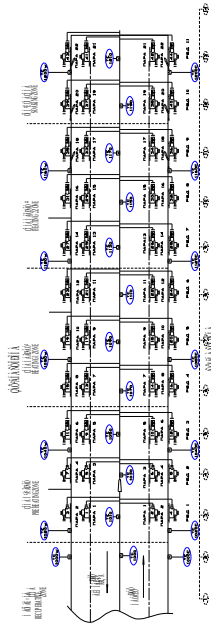


Рис.3. Розташування віртуальних зон нагріву методичної печі

Для отримання моделі, призначеної для роботи у такій системі керування, реалізований планований двохфакторний експеримент. В результаті одержаний наступний поліном:

$$\begin{aligned}
 t_{i,i} = & 0,02 \times X_{12i} + 0,02 \times X_{13i} + 0,05 \times X_{14i} + 0,13 \times X_{15i} + \\
 & + 0,01 \times \sum_0^{i-1} X_{13(i-1)} + 0,009 \times \sum_0^{i-1} X_{14(i-1)} + 0,007 \times \sum_0^{i-1} X_{15(i-1)} + \\
 & + 8,5 \times X_{3i} + 34,01 \times X_{5i} + 1,45 \times X_{6i} + 12,03 \times X_{7i} - 81,3 \times X_{8i} - 92,7 \times X_{9i}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

де $t_{i,i}$ - температура металу; $X_{12i}, X_{13i}, X_{14i}, X_{15i}$ - сумарні зональні витрати наявного палива і $\sum_0^{i-1} X_{13(i-1)}, \sum_0^{i-1} X_{14(i-1)}, \sum_0^{i-1} X_{15(i-1)}$ - їх передісторія; X_{3i} - нижча теплота горіння наявного палива Q_i^{δ} ; \tilde{O}_5 - марка сталі; \tilde{O}_6 - температура завантаження металу t_{ψ} ; \tilde{O}_7 - температура навколишнього середовища t_a ; \tilde{O}_8, \tilde{O}_9 - час на протязі якого відкриті завантажувальне та розвантажувальне вікна печі $\Psi_{\psi}, \Psi_{\delta}$; i - крок керування.

Отримана поліноміальна модель (1) була перевірена на адекватність. Її похибка у порівнянні з технологічною моделлю збільшилась на 0,35%.

Одержані результати підтверджують доцільність застосування синтезованого алгоритму у системах автоматичного керування. Досягнуті сумарні витрати природного газу виявилися на 10,869% меншими ніж діючі нормативні показники. При цьому також встановлено, що зі збільшенням кількості віртуальних зон розроблений алгоритм суттєво ускладнюється.

У четвертому розділі проведений синтез алгоритму розпізнавальної оптимізації досліджуваного об'єкту та перевірена його ефективність.

У даному розділі відомий метод розпізнавальної оптимізації статичних об'єктів, що реалізується режимами навчання розпізнаванню і пошуком оптимального керування, застосований для динамічного об'єкту. Сутність режиму навчання розпізнаванню полягає у тому, що у оперативну пам'ять керуючої ЕОМ надходить вибірка у вигляді сукупності інформації з датчиків, які встановлені на об'єкті. Ілюстрація процесу формування розпізнавальної моделі наведена на рис.4.

Навколо кожної точки 1, 2,...а вибірки у признаковому просторі будується елементарний гіперпаралелепипед, який характеризує розігрів конкретної партії металу в печі. Кожній точці відповідає певне значення критерію керування процесом Y_j (сумарні витрати природного газу). Тут \tilde{O}_1 - вектор керуючих параметрів; \tilde{O}_2 - вектор збурюючих параметрів. Величини $\Delta \tilde{O}_i^{\delta}$ дорівнюють похибкам вимірювань відповідних параметрів. Навчання може здійснюватися на підставі великої кількості спостережень за об'єктом або на наявній технологічній моделі, яка попередньо розроблена і перевірена на адекватність.

Якщо весь діапазон отриманої зміни значень критерію $Y_{\min} \div Y_{\max}$ розбити на m рівних відрізків з кроком $\Delta Y = (Y_{\max} - Y_{\min}) / m$, що відповідає похибці його виміру або розрахунку, то в результаті для значень $Y_p = Y_{\min} + p \times \Delta Y$, $p = \overline{1, m}$, можуть бути сформовані образи, які будуть складатися з логічних сум гіперпаралелепіпедів, які відповідають значенню Y , що розглядається, а розподільчі функції будуть мати такий вигляд:

$$Z_p(\bar{X}) = \bigvee_{j=1}^{a_p} Z_j(\bar{X}) \rightarrow Y_p, \quad (2)$$

де a – кількість гіперпаралелепіпедів, отриманих на етапі навчання і які належать образу Z_p ; j – номер технологічної ситуації (№ партії металу), $p = \overline{1, m}$ – номер розподільчої функції; $m = (Y_{\max} - Y_{\min}) / \Delta Y$.

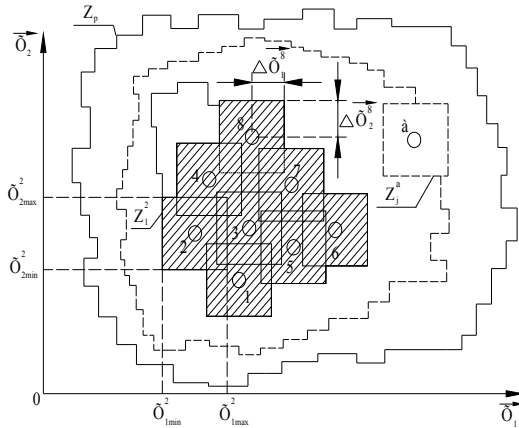


Рис.4. Ілюстрація процесу формування розпізнавальної моделі

Модель, що використовується в алгоритмі розпізнавальної оптимізації процесом нагріву металу має вигляд сигнатурної функції:

$$\begin{aligned}
Z_j(\vec{X}) = & \frac{1}{4096} \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_1^{li} - X_{1\min}^{li} \right) \times \left(X_{1\max}^{li} - X_1^{li} \right) \right] \right\} \times \\
& \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_1^{2i} - X_{1\min}^{2i} \right) \times \left(X_{1\max}^{2i} - X_1^{2i} \right) \right] \right\} \times \dots \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_1^{ki} - X_{1\min}^{ki} \right) \times \left(X_{1\max}^{ki} - X_1^{ki} \right) \right] \right\} \times \\
& \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_3^i - X_{3\min}^i \right) \times \left(X_{3\max}^i - X_3^i \right) \right] \right\} \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_5^i - X_{5\min}^i \right) \times \left(X_{5\max}^i - X_5^i \right) \right] \right\} \times \\
& \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_6^i - X_{6\min}^i \right) \times \left(X_{6\max}^i - X_6^i \right) \right] \right\} \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_7^i - X_{7\min}^i \right) \times \left(X_{7\max}^i - X_7^i \right) \right] \right\} \times \\
& \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_8^i - X_{8\min}^i \right) \times \left(X_{8\max}^i - X_8^i \right) \right] \right\} \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_9^i - X_{9\min}^i \right) \times \left(X_{9\max}^i - X_9^i \right) \right] \right\} \times \\
& \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_{10}^{li} - X_{10\min}^{li} \right) \times \left(X_{10\max}^{li} - X_{10}^{li} \right) \right] \right\} \times \dots \times \left\{ 1 + \operatorname{sgn} \left[\left(X_{10}^{qi} - X_{10\min}^{qi} \right) \times \left(X_{10\max}^{qi} - X_{10}^{qi} \right) \right] \right\},
\end{aligned} \tag{3}$$

де $X_1^{li}, X_{1\min}^{li}, X_{1\max}^{li}$ – поточне, мінімальне та максимальне значення встановлених витрат газу 1-ого пальника на i-му кроці керування, $X_1^{2i}, X_{1\min}^{2i}, X_{1\max}^{2i}$ – 2-го і т.д., $X_3^i, X_{3\min}^i, X_{3\max}^i$ – теплоти спалювання палива Q_i^δ ; $X_5^i, X_{5\min}^i, X_{5\max}^i$ – марки сталі; $X_6^i, X_{6\min}^i, X_{6\max}^i$ – температури завантаження металу; $X_7^i, X_{7\min}^i, X_{7\max}^i$ – температури навколишнього середовища; $X_8^i, X_{8\min}^i, X_{8\max}^i, X_9^i, X_{9\min}^i, X_{9\max}^i$ – проміжки часу на проязі яких відкриті завантажувальне та розвантажувальне вікна печі Ψ_ζ, Ψ_δ ; $X_{10}^{ji}, X_{10\min}^{ji}, X_{10\max}^{ji}$ – температури зон печі, j – номер датчику.

Підтверджена адекватність отриманої розпізнавальної моделі об'єкту у вигляді сигнатурної функції (3). Її похибка навіть при $\Delta X_1^k = 3,5\%$ і кількості предикат 8500 склала 4%.

Оптимальне керування визначається перебором усіх можливих комбінацій керування з кроком ΔX_1^k , і поряд з поточними значеннями збурювань ($X_3^{i\delta}, X_4^{i\delta}, X_5^{i\delta}, X_6^{i\delta}, X_7^{i\delta}, X_8^{i\delta}, X_9^{i\delta}$) усі ці комбінації по чергово підставляються у сигнатурну функцію Z_1 , якщо при цьому вираз (3) не став рівним одиниці, то таку процедуру повторюють для Z_2 і т.д., доки не буде отримано перше очікуване значення. При цьому керування, яке її забезпечило і дає найменше у данному випадку значення критерію керування.

Форма керуючого впливу, що отримується в результаті вирішення оптимізаційної задачі як витрати наявного палива на пальниках має матричний вигляд (4).

$$A^{ki} = \begin{bmatrix} X_1^{11} & X_1^{12} & \dots & X_1^{1i} & \dots & X_1^{114} \\ X_1^{21} & X_1^{22} & \dots & X_1^{2i} & \dots & X_1^{214} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_1^{k1} & X_1^{k2} & \dots & X_1^{ki} & \dots & X_1^{k14} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ X_1^{441} & X_1^{442} & \dots & X_1^{44i} & \dots & X_1^{4414} \end{bmatrix} \tag{4}$$

де $k = 44$, $i = 14$ – кількість пальників і кроків у часі відповідно.

В результаті розрахункових досліджень отримані залежності роботи алгоритму розпізнавальної динамічної оптимізації у вигляді кривих зміни температури металу, аналогічно методу динамічного програмування. Одержане зменшення сумарних витрат природного газу на 11,443% у порівнянні з діючими нормативними показниками, що свідчить про ефективність і доцільність запропонованого алгоритму.

У п'ятому розділі проведений порівняльний аналіз ефективності розроблених алгоритмів.

Встановлено, що алгоритм розпізнавальної оптимізації володіє більш високою стійкістю до зовнішніх збурювальних впливів у порівнянні з алгоритмом оптимального керування за методом динамічного програмування. Але ще більш цінним є те, що він є інваріантним відносно до аналогічних об'єктів, а це свідчить про його переваги у даному випадку. Крім того, розробленим алгоритмом було досягнуто зниження сумарних витрат природного газу на 0,574% відносно до алгоритму за методом динамічного програмування та 11,443% до вихідної системи. Криві нагріву заданої партії металу в процесі зміни калорійності палива з 34 ГДж/м^3 до 15 ГДж/м^3 ($i = 4$) наведені на рис.5.

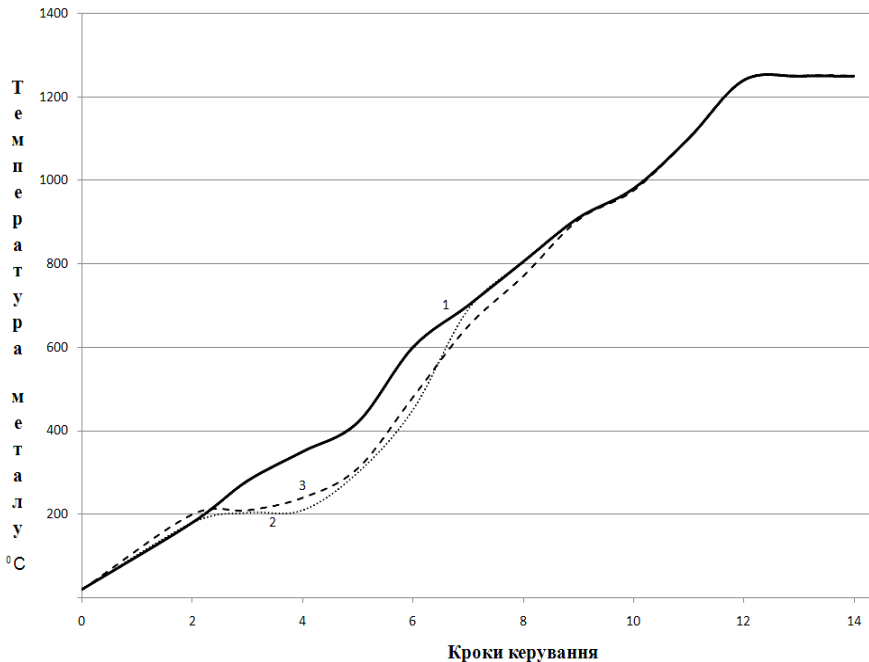


Рис.5. Криві нагріву металу в процесі зміни калорійності палива з 34 ГДж/м^3 до 15 ГДж/м^3 де, 1 – реалізація існуючого алгоритму керування; 2 – алгоритму розпізнавальної оптимізації; 3 – алгоритму оптимізації за методом динамічного програмування

Розроблений алгоритм прийнятий для впровадження в існуючій системі нагріву металу, про що свідчить акт практичного використання матеріалів дисертаційної роботи. Впровадження алгоритму розпізнавальної динамічної оптимізації на печах з вже існуючою системою керування (наявні всі необхідні технічні засоби) дозволяє знизити питомі витрати природного газу на $7,2 \text{ м}^3/\text{т}$, економити 7,3 млн. грн. на рік з вкладеннями 257 тис. грн. при терміні окупності 2 місяці.

Задля ж більшого зменшення витрат палива в роботі запропонований новий енергозберігаючий режим нагріву металу, який підвищує керованість методичною піччю за рахунок перерозподілу теплового навантаження, забезпечуючи в даному випадку додаткове зниження (на 10,4%) витрат природного газу. Одержана при цьому динаміка нагріву слябів представлена на рис.6.

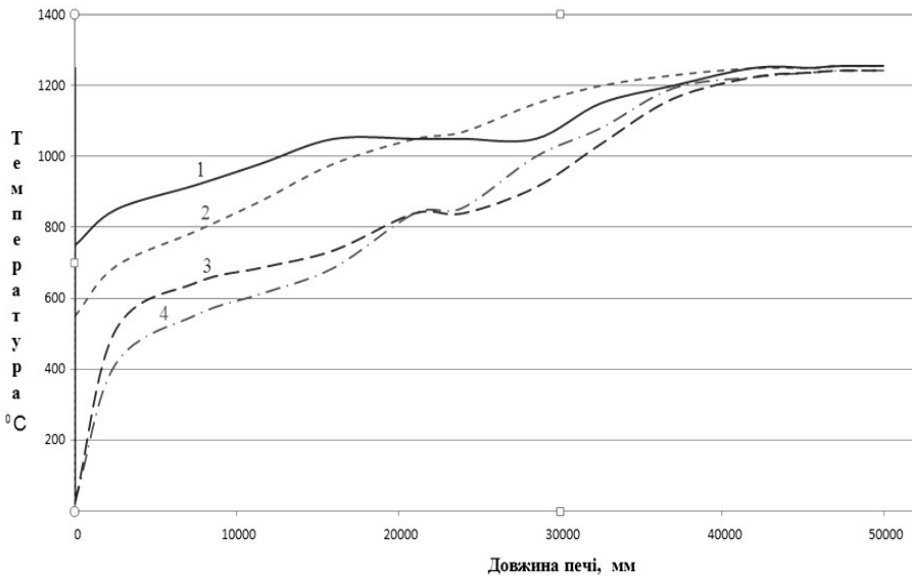


Рис.6. Динаміка нагріву партії слябів,

де 1, 3 – розподілення температури печі і металу відповідно по її довжині при використанні додаткового впливу; 2, 4 – без нього

Із графіка видно, що підвищення температури рекуперативної зони, сприяє більш інтенсивному нагріву металу в ній, і за рахунок цього у наступних зонах стає можливим раціональний перерозподіл вказаних температур з зменшенням витрат палива на потужніших пальниках.

У додатках наведені програмна реалізація алгоритму технологічної моделі методичної печі, акт перевірки її адекватності з використаними при цьому вихідними даними, коди програм оптимізації на основі метода динамічного програмування і розпізнавальної динамічної оптимізації, акт впровадження результатів дисертаційної роботи в дослідно-промислову експлуатацію через ВАТ ППКІ «Металургавтоматика».

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, викладені науково-технічні та конструктивні рішення, впровадження яких дозволяє спростити структуру комплексу технічних засобів АСК ТП, скоротити строки розробки і витрати на створення АСК ТП, підвищити ефективність інформаційної автоматичної системи нагріву металу та супроводу при транзитній прокатці, за рахунок вирішення оптимізаційної задачі. Впровадження синтезованого алгоритму розпізнавальної динамічної оптимізації дозволяє знизити витрати природного газу на 11,443% від нормативних показників і економити при цьому 7,3 млн. грн. на рік.

Відповідно до мети роботи були отримані наступні результати:

1. Для вирішення задач обчислювальних досліджень процесу нагріву металу у методичній печі придатна математична модель, основою якої є інженерна методика розрахунку.

2. Отримані в результаті обчислювальних і натурних експериментів на методичній печі дані, свідчать про адекватність розробленої технологічної моделі і можливість її використання у якості інструменту обчислювальних досліджень.

3. Через значні технічні і економічні труднощі, які виникають при реалізації планованого експерименту на діючій печі, отримати модель вказаного процесу, придатну для використання у системах динамічної оптимізації, доцільно шляхом обчислювальних експериментів на його відомій і адекватній технологічній моделі. Досягнута похибка, синтезованої таким чином динамічної моделі методичної печі (умови ЛПЦ-1700 ВАТ ММК ім. Ілліча) у вигляді системи лінійних поліномів, свідчить про її придатність для використання у задачах автоматичного керування.

4. Застосування алгоритму керування методичною піччю, який розроблений на основі методу динамічного програмування, дозволяє знизити сумарні витрати природного газу на 10,869%.

5. Встановлено, що в алгоритмі керування процесом нагріву металу найбільш доцільно використовувати метод розпізнавальної оптимізації, який не потребує традиційної математичної постановки оптимізаційної задачі у вигляді цільової функції і обмежень, і дозволяє збільшувати кількість інформаційних каналів по мірі удосконалення

засобів вимірювання і контролю параметрів процесу. Вперше, для динамічних об'єктів застосований даний метод керування.

6. Встановлено, що реалізація алгоритму керування процесом нагріву металу на основі метода розпізнавальної оптимізації не висуває підвищених вимог до обчислювальних засобів і може бути реалізований практично на будь-якій сучасній ЕОМ.

7. Встановлено, що використання розробленого алгоритму у САК процесом нагріву металу, в умовах ЛПЦ-1700 ВАТ ММК ім. Ілліча, дозволяє на $7,2 \cdot 10^3 / \delta$ скоротити питомі витрати природного газу, економити 7,3 млн. грн. на рік з вкладенням 256652 грн., при строку окупності у 2 місяці.

8. Розроблене програмне забезпечення передано у ВАТ ППКІ «Металургавтоматика» для використання при виконанні проекту «Інформаційна система супроводу при транзитній прокатці «Слябінг 1150 – ЛПЦ 1700»».

9. Використання додаткового керуючого впливу у вигляді зміни витрат палива у рекуперативній зоні печі дозволяє знизити сумарні витрати природного газу до 10,4%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Качан Ю. Г. Алгоритм расчета процесса горения топлива в методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Теория и практика металлургии. – 2007. – №2-3. – С. 131-134.

2. Качан Ю. Г. Расчет внешнего теплообмена в рабочем пространстве методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Теория и практика металлургии – 2007. – №4-5. – С. 77-78.

3. Качан Ю. Г. Моделирование процесса нагрева металла в методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2007. – №5. – С.74-76.

4. Качан Ю. Г. Алгоритм расчета теплового баланса методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Металлургия (Наукові праці ЗДІА). – 2007. – Вип.16. – С. 120-126.

5. Качан Ю. Г. Математическая модель методической печи с позиции управления / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // НГУ, Гірничя електромеханіка та автоматика: наук. – техн. зб. – 2007. – Вип.78. – С. 81-84.

6. Качан Ю. Г. О синтезе динамической модели методической печи для задач автоматизированного управления / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Збірник

наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: (технічні науки). – 2008. – Вип. 1 (9). – С.163-166.

7. Качан Ю. Г. Анализ адекватности математической модели методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // НГУ, Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2008. – №81. – с.102-105.

8. Качан Ю. Г. Алгоритм динамической оптимизации процесса нагрева металла в методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: (технічні науки). – 2008. – Вип.2(19). – С. 57-61.

9. Качан Ю. Г. Исследование эффективности алгоритма динамической оптимизации процесса нагрева металла в методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Вісник Криворізького технічного університету. – 2009. – Вип.23. – С. 148-151.

10. Качан Ю. Г. Идентификация параметров распознающей динамической модели методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Науковий вісник НГУ. – 2009. – Вип. 4. – С.82-85.

11. Качан Ю. Г. Исследование возможности повышения управляемости методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Науковий вісник НГУ. – 2009. – Вип. 8. – С. 77-78.

12. Качан Ю. Г. Синтез и исследование эффективности алгоритма распознающей динамической оптимизации процесса нагрева металла в методической печи / Ю. Г. Качан, А. В. Николенко, В. В. Степкин // Науковий вісник НГУ. – 2009. – Вип. 9. – С. 86-88.

13. Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості: матеріали XIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА, (Запоріжжя, 13-17 квітня 2009р.)/ Міністерство освіти і науки України, Запорізька державна інженерна академія. – 3.: ЗДІА, 2009. – С.189.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: у роботах [1-4] складений алгоритм розрахунку процесу нагріву металу у методичній печі; у роботі [5] обрана структура математичної моделі, яка враховує усі параметри об'єкта важливі з позиції керування; [6] – виконаний синтез динамічної моделі для задач керування; [7] – перевірена адекватність розробленої технологічної математичної моделі; [8] – синтезований алгоритм динамічної оптимізації процесу нагріву металу у методичній печі; [9] – проведено дослідження ефективності алгоритму динамічної оптимізації процесу нагріву металу у методичній печі; [10] – проведена ідентифікація параметрів розпізнавальної динамічної моделі методичної печі; [11] – проведено дослідження можливості підвищення керованості методичної печі; [12] – синтезований алгоритм розпізнавальної динамічної оптимізації процесу нагріву металу у методичній печі.

АНОТАЦІЯ

Стьопкін В. В. «Система автоматичної оптимізації процесу нагріву металу у методичних печах». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07. – Автоматизація процесів керування. – Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, 2010.

Проведені теоретичні дослідження процесу нагріву металу, які дозволили встановити: процес є динамічним і питання його керування можуть бути вирішені методами динамічної оптимізації. Запропонований метод розпізнавальної оптимізації процесу нагріву металу дозволив скоротити питомі витрати природного газу на $7,2 \text{ і } ^3 / \text{ò}$, економити 7,3 млн. грн. на рік з вкладеннями 257 тис. грн. при строку окупності 2 місяці.

Запропонований додатковий керуючий вплив у вигляді зміни витрат палива у рекуперативній зоні печі, дозволив додатково знизити споживання природного газу на 10,4%.

Розроблений алгоритм розпізнавальної оптимізації процесом нагріву металу, впровадження якого у ЛПЦ-1700 ММК ім. Ілліча дозволило скоротити споживання природного газу на 11,433%.

Ключові слова: методична зона, керованість, теплове навантаження, розпізнавальна модель.

АННОТАЦИЯ

Степкин В. В. «Система автоматической оптимизации процесса нагрева металла в методических печах». – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация процессов управления. – Национальный горный университет, Днепропетровск, 2010.

С появлением методических печей с шагающими балками (ранее с шагающим подом) и изменением схемы отопления этими печами, по сравнению с толкательными, возникли новые задачи управления, аналоги решения которых практически отсутствуют в литературе. Механический же перенос принципов автоматизации толкательных печей на печи новой конструкции приводит лишь к отрицательным результатам. Таким образом, необходимым есть использование более эффективных подходов, при построении

автоматической системы управления печью, обеспечивающего оптимальный режим ее работы, с целью снижения удельных затрат природного газа при стабилизации качества получаемой продукции. Наиболее перспективным, на сегодняшний день есть рассмотрение конструкции методической печи с шагающими балками, которая спроектирована для ЛПЦ-1700 ММК им. Ильича.

В диссертационной работе вопросы управления такими объектами как методические печи, с целью снижения энергопотребления, решаются с использованием новых подходов, которые позволяют создавать интеллектуальные системы. На данный момент метод распознающей оптимизации рассматривался лишь на примере статических объектов. В данной работе получена распознающая динамическая модель методической печи в обучающем режиме.

В диссертационной работе рассматривается класс задач распознавания образов, в которых обучение осуществляется на основании большого числа наблюдений за технологическим объектом. Область функционирования исследуемого объекта в признаковом пространстве определяет математическая модель процесса нагрева металла в печи в виде суммы предикатных уравнений.

Синтез распознающей динамической модели методической печи выполнен с помощью алгоритма обучения. Данная модель получена в виде совокупности предельных значений управляющих и возмущающих параметров, характеризующих процессы нагрева металла, принадлежащие всем областям, на которые разбито, в зависимости от суммарного расхода газа, пространство функционирования объекта.

Расознающая динамическая модель объекта позволяет осуществлять прогноз значений критерия управления с различной глубиной памяти процесса. При этом увеличивается только размерность факторного пространства. Модель технологического процесса, построенная на едином математическом аппарате распознавания в виде совокупности предикатных уравнений содержит в неявном виде и ограничения, накладываемые на управление условиями ведения процесса, а использование такой модели в задаче оптимизации не требует привлечения традиционных численных методов.

Дополнительно предложен энергосберегающий режим нагрева металла, обеспечивающий увеличение управляемости методической печи за счет перераспределения тепловой нагрузки, и обеспечивает дополнительное снижения суммарного расхода природного газа на 10,4%.

Ключевые слова: распознающая модель, обучающая выборка, технологическая модель, тепловая нагрузка, расход природного газа, увеличение управляемости.

SUMARY

Stepkin V. «The system of automatic optimization process of the heating metal in furnaces teaching. – Manuscript.

The dissertation for the scientific degree of Candidate of the Technical Science on specialty 05.13.07 – Automation of Control Processes – National Mining University, Dnipropetrovsk, 2010.

Theoretical researches of the process of heating metal, which identified: process is dynamic and its management issues can be solved by methods of dynamic optimization. The proposed method is distinctive optimization process of heating metal allowed to reduce specific costs of natural gas, saving 7.3 million UAH year with attachments 257 thousands of UAH at the term of recoupment 2 months.

The proposed additional control actions in a change of fuel consumption in recuperative zone furnace, allowed to further reduce natural gas consumption at 10.4%.

Algorithm optimization distinctive metal heating process, implementation of which in LPC-1700 MMK the name of Ilich allowed reduce natural gas consumption at 11.433%.

Keywords: Methodical zone, handling, thermal loading, a recognizable model.

Стьопкін Василь Володимирович

(Автореферат)

Підписано до друку 19.04.2010. Формат 30x42/4

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1, 6.

Обл. – вид. арк. Тираж 130. Зам. №146

Поліграфічне підприємство «КВИТКА»
49000, м. Дніпропетровськ, вул. Московська, 25-А

