

ВІДГУК

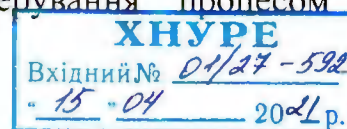
офіційного опонента доктора технічних наук, професора
Ляшенка Сергія Олексійовича
на дисертацію Ілюніна Олега Олеговича
на тему: «Синтез автоматизованої системи інтелектуального керування процесом
безперервного травління смугової сталі»,
що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Виробництво та продаж сталевого прокату дає близько 20% надходжень до державного бюджету України. До найбільш важливих технологічних процесів (ТП) виробництва сталевого прокату є етап травління смугової сталі на заключній ділянці прокатного стану, що здійснюється за допомогою безперервного травильного агрегату (БТА). ТП є тривалим, нестационарним, функціонує в умовах невизначеності: деякі змінні вимірюються із незадовільною точністю (температура та концентрація травильного розчину), або значними похибками (концентрація групи мультигідратів сульфату заліза в травильному розчині), а деякі фактори в реальному часі взагалі не контролюються (моногідрат сульфату заліза в травильному розчині), що негативно впливає на керування режимами травління.

Попит на якісний прокат останнім часом зростає, що призвело до росту об'ємів прокатного виробництва. Як наслідок, зросли витрати теплової енергії, травильних розчинів (ТР) та технічної води на тону кінцевої продукції. Оптимізація цих витрат потребує постійного удосконалення виробництва, технології, обладнання, та систем автоматизованого керування ТП.

Ефективне керування процесом травління смугової сталі є можливим лише на основі створення більш точних моделей та методів, що повинні бути нечутливими до суттєвих завад та похибок вимірів. Таким вимогам задовольняють інтелектуальні методи контролю, ідентифікації та керування динамічними системами, що експлуатуються за умов суттєвої невизначеності щодо характеристик керованого об'єкту та зовнішнього середовища на основі об'єднання принципів теорії нечіткого керування та штучних нейронних мереж. Аспекти автоматизованого керування ТП для параметрів об'єкту керування достатньо досліджені та представлені у науковій літературі. Застосування регуляторів інтелектуального керування процесом



травління дає можливість швидкої адаптації до змін динамічних характеристик, що є відсутнім в існуючих системах керування БТА. Такий підхід дозволив у значній мірі позбутися недоліків, властивих класичним методам керування ТП травління прокату з використанням детермінованих стехіометричних або статистичних моделей, та підвищити якість смугової сталі за умов оптимізації енергоспоживання та ресурсів.

Впровадження автоматизованої інтелектуальної системи керування ТП суттєво зменшує споживання теплової енергії та технологічних ресурсів; впровадження додаткового контуру керування тиском подачі травильного розчину в сопла попереднього зрошування дефектів поверхні прокату призводить до зменшення витрат товарного прокату. Таким чином, синтез цифрових систем автоматизованого керування процесом травління смугової сталі, що базуються на використанні інтелектуальних моделей та методів, є актуальною науково-практичною задачею дослідження.

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

Дисертаційна робота пов'язана з науковими дослідженнями кафедри електронних обчислювальних машин Харківського національного університету радіоелектроніки, де здобувач навчався в аспірантурі, за темою № 273 «Нейро-фаззі системи для поточної кластеризації та класифікації послідовностей даних за умов їх викривленості відсутніми та аномальними спостереженнями», розділ «Методи поточного контролю послідовностей даних за умов їх викривленості на основі критичного підходу» (№ ДР 0113U00357). Особистий внесок автора полягає в аналізі взаємовпливу та класифікації типів факторів, які впливають на процес адаптивного управління, розробці критерія оцінювання якості управління, та інформаційно-логічних моделей функціонування системи управління процесом.

Дисертаційну роботу виконано під керівництвом д.т.н., проф., завідувача кафедри комп'ютерних інтелектуальних технологій та систем Харківського національного університету радіоелектроніки Руденко О.Г.

3. Наукова новизна одержаних результатів, отриманих особисто здобувачем і поданих на захист

Основні результати, які визначають наукову новизну дисертаційної роботи:

1. Вперше отримані:

- Радіально-базисні мережі (РБМ) - моделі, що на відміну від існуючих використовують гауссівські РБ-функції з налагоджуваними параметрами, та дозволили адекватно описати процес в нестационарних умовах функціонування за наявності невизначеностей ТП травлення;

- РБМ-регулятор температури сірчаного ТР, який використовує відповідні РБМ моделі, та, на відміну від існуючих регуляторів дозволяє адаптивно коригувати температуру ТР з урахуванням впливу змін складу ТР для підтримання регламентованої швидкості ТП за умов оптимізації енергетичних та технологічних витрат.

- РБМ модель, яка на відміну від існуючих реалізує нечітку кластеризацію стану компонентів травильного розчину смугового прокату на основі моделі Мамдані, завдяки чому дозволила автоматизувати процес ідентифікації та оперативний контроль технологічних параметрів ТР (вміст мультігідратів).

2. Удосконалено:

- процес ідентифікації дефектів поверхні смугового прокату з використанням нечіткої кластеризації, що дозволило автоматизувати контроль якості кінцевого продукту, та визначати в процесі параметри тиску подачі травильного розчину в сопла попереднього зрошування дефектів поверхні прокату;

- метод оцінювання якості функціонування технологічної лінії травлення, який на відміну від існуючих дозволяє здійснювати кластеризацію факторів технологічного процесу з урахуванням їх взаємних впливів.

3. Набув подальшого розвитку: підхід до автоматизації процесів травлення смугової сталі шляхом модифікації системи керування БТА на основі запропонованих інтелектуальних моделей та методів, що дозволило підвищити точність регулювання ТП та якість травлення за умов оптимізації енергетичних та технологічних витрат.

4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів

Автор повно та послідовно обґрунтовує наукові положення, що виносяться на захист у дисертаційній роботі. Достовірність одержаних наукових результатів

забезпечено коректним використанням сучасних методів системного аналізу, теорії автоматичного управління, теорії нейронних мереж та нечіткої логіки, математичного та імітаційного моделювання, експериментальними дослідженнями та виробничими випробуваннями, достатнім збіганням результатів теоретичних та експериментальних досліджень. Розгляд висновків та рекомендацій дозволив у повному обсязі достовірно оцінити результати роботи.

5. Практичні результати роботи, їх рівень і ступінь використання

Розроблені здобувачем моделі та методи дозволяють вирішувати задачі керування технологічними лініями безперервного травління смугової сталі, за умов нестационарності процесу та відсутності повної інформації про властивості зовнішніх збурень. У дисертаційній роботі та її додатках наведено результати моделювання та експериментального дослідження режимів роботи автоматизованої системи інтелектуального керування безперервним травильним агрегатом, зокрема, впливу сигналів керування, що формуються розробленими регуляторами, на витрати енергії та ресурсів в межах застосованої технології травління. Експериментальні дослідження, проведені на травильній лінії металургійного комбінату, підтверджують основні положення, що виносяться на захист. Результати дисертаційної роботи використано для модернізації системи керування на металургійних підприємствах України, а також в електронних багатоканальних температурних регуляторах витрати теплоносія, що серійно виробляються для підприємств енергетики та комунального господарства, металургійних та хімічних виробництв. (ТОВ „АТ Співдружність-Т” сертифікат UA1.007.0183354-07); окремі результати роботи впроваджено до освітнього процесу Харківського національного університету радіоелектроніки, що підтверджено відповідними актами.

6. Повнота викладення наукових та практичних результатів дисертації в опублікованих роботах, особистий внесок дисертанта в публікації

Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи отримані автором самостійно. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 22 наукових роботи: 1 розділ у колективній монографії(індексовано в Scopus), 9 статей в наукових фахових виданнях України з технічних наук, 3 статті в зарубіжних виданнях (індексовані в Scopus), 8 публікацій

у збірниках матеріалів та тез доповідей на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях (з них 1 – Scopus), зареєстровано 1 патент України

В наукових публікаціях в достатній мірі відображені основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі. Аналіз публікацій автора дозволяє зробити висновок, що основні результати дисертаційної роботи найшли повне відображення в авторефераті та наукових фахових виданнях. Автореферат цілком відповідає змісту і основним положенням дисертації. Робота пройшла необхідну апробацію на наукових конференціях та семінарах: 10th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, SDEWES2015, (Dubrovnik, Croatia, 28-30.09.2015) – 10-й конференції зі сталого розвитку енергетики, води і навколишнього середовища (Дубровнік, 2015); I та III міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (Черкаси, 2013; Полтава, 2015); III, V, та VI міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Харків, 2013р; Полтава, 2015; Харків, 2016); науково-технічних конференціях «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (ІТММ-2013, ІТММ-2014) (Дніпропетровськ, 2013, 2014).

7. Оцінка змісту дисертації та її завершеності у цілому

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 126 найменувань (12 с.) та 4 додатків на 12 сторінках, містить 71 рисунок (з них 9 рисунків повністю займають площу 5 окремих сторінок), 9 таблиць та має загальний обсяг 191 сторінку, у тому числі 5 сторінок займають титульний аркуш, зміст, перелік умовних позначень, та 13 сторінок - анотація.

Оформлення дисертації виконано відповідно до вимог Департаменту атестації кадрів МОН України. Мова написання дисертаційної роботи відповідає рівню науково-технічних видань, термінологія, в основному, використовується коректно, стиль викладу зручний для аналізу та ясний для розуміння.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів,

особистий внесок здобувача в отриманні результати, представлено дані щодо їх апробації та впровадження.

У першому розділі наведено опис типової лінії безперервного травління смугової сталі, та здійснено її аналіз як об'єкта автоматизованого керування. Визначено особливості травління та контурів керування цим нестационарним процесом з нелінійністю змін параметрів. Зазначено, що сучасний рівень автоматизації БТА є недостатнім і не забезпечує потрібну якість та оперативність керування безперервним процесом травління. Показано, що розробка автоматизованої системи керування лініями травління є можливим лише у складі загальної автоматизованої системи керування технологічними процесами, а сам процес може бути віднесений до класу об'єктів інтелектуального керування.

У зв'язку з цим було розглянуто загальні принципи такого керування та обґрунтовано доцільність його використання при автоматизації роботи керування безперервних травильних агрегатів, та визначено, що для покращення роботи БТА необхідно розробити нові моделі та методи керування ТП, зокрема за допомогою застосування методів інтелектуального керування і моделювання на базі нечіткої логіки та нейронних мереж і впровадити їх з використанням сучасних технічних засобів при синтезі автоматизованої системи інтелектуального цифрового керування процесом безперервного травління смугової сталі. На основі результатів проведеного аналізу стану проблеми, сформульовано мету і задачі дослідження.

У другому розділі розглянуті питання синтезу методів ідентифікації та керування, що можуть бути використані в контурах інтелектуальних регуляторів технологічного процесу травління. У другому розділі розглянуті питання синтезу методів ідентифікації та керування, що можуть бути використані в контурах критичних регуляторів технологічного процесу травління.

Визначена загальна схема керування, що передбачає послідовну реалізацію двох етапів: ідентифікації параметрів керованого об'єкту та визначення поточних завдань та значень сигналів керування. В якості процедур ідентифікації та визначення величин керуючих сигналів в роботі запропоновано використання радіально-базисних мереж.

Зокрема, розроблено радіально-базисну нейромережеву модель ідентифікації стану розчину, визначено параметри впливу на швидкість травління: температура розчину, масова концентрація сірчаної кислоти та групи сульфатів заліза в травильному розчині. Запропоновано інтелектуальну нейронечітку нелінгвістичну модель Мамдані оцінювання концентрації мультигідратів сульфатів заліза в ТР за

яскравістю колірних RGB-складових окремих точок зображення. Розроблено інтелектуальну модель ідентифікації товщини дефектів поверхні прокату з метою подальшого визначення тиску попереднього зрошення поверхні прокату. Також в розділі представлено нейромодель ідентифікації кута повороту клапану, що забезпечує подачу питомої кількості теплоносія для оперативної підтримки активності ТР.

У третьому розділі визначено що процес керування споживанням теплової енергії в БТА може бути представлено типовою MPR-задачею, а саме: підтримки рівня теплозабезпечення ТП в нечіткому інтервалі, що визначається кількістю витравленої окалини. Отримано сімейство ПП – регуляторів температури травильного розчину з параметрами, оптимізованими відповідно до характеристик елементів системи «ОК-регулятор». За принципом «наслідуючого нейрокерування» з використанням даних моделювання роботи ПП-регуляторів побудовано нейромережевий регулятор температури травильного розчину. Змодельовано порівняльні характеристики ПП та РБМ регуляторів. Результати моделювання підтверджують працездатність запропонованого РБМ-регулятора витрат теплоносія.

Розроблено нейромережевий регулятор, який динамічно регулює тиск травильного розчину в соплах попереднього зрошування згідно зміни товщини/кольору дефектів поверхні прокату, що травиться.

Розглянуті у другому та третьому розділах комбінації методів нейро-нечіткої ідентифікації в подальшому використані для розробки математичного забезпечення автоматизованої системи інтелектуального керування технологічними лініями травління перед холодною прокаткою смугової сталі.

У четвертому розділі наведено рекомендації з модернізації автоматизованої системи мікроконтролерного керування процесом травління смугової сталі в складі АСК ТП стану холодної прокатки: модифіковану структуру та інформаційну модель автоматизованої системи інтелектуального керування процесом безперервного травління в частинах досліджень представленої роботи. За результатами дослідження роботи інтелектуальної цифрової системи регулювання температури травильного розчину доведено, що вона є умовно стійка. Представлено критерії оцінювання оптимальності функціонування модифікованої системи керування процесом травління полосового прокату з урахуванням взаємовпливу факторів ТП за відносним індексом очищення поверхні прокату від дефектів. Розроблено РБМ для оцінювання індексу якості керування процесами травління та класифікації станів ТП за результатами аналізу середніх значень та відхилень залишків, що

дозволяє оператору оцінити поточний стан БТА без зупинки, підстроїти параметри моделей регулювання та скорочує вартість обслуговування ТП.

У висновку стисло відображено основні результати, отримані в роботі. У додатках наведено деякі додаткові матеріали та акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Автореферат повністю відображує основні положення дисертації.

Запропоновані рішення беруть до уваги особливості сучасних безперервних травильних агрегатів та оснований на використанні отриманих у дисертації наукових результатів та ефективних засобів автоматизації і мікропроцесорної техніки. Текст дисертації викладено грамотною технічною мовою, логічно і послідовно. Стил ь викладення науково доказовий.

Всі теоретичні результати, висунуті на захист, отримані автором самостійно та повністю відповідають паспорту спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування, зокрема, за такими напрямками досліджень:

- пункт 2 – формалізація завдань керування складними організаційно-технічними об'єктами та комплексами, розроблення критеріїв оцінювання якості їхнього функціонування;
- пункт 3 – моделювання об'єктів і систем керування (статичні та динамічні, стохастичні й імітаційні, логіко-динамічні моделі тощо);
- пункт 4 – інформаційне та програмне забезпечення АСК організаційно-технічними об'єктами та комплексами;
- пункт 5 – ідентифікація та контроль параметрів об'єктів керування в різних галузях народного господарства;

Разом з тим, є деякі зауваження по дисертаційній роботі.

8. Зауваження щодо змісту і оформлення дисертації та автореферату

1. Побудова будь якої ШНМ потребує вирішення задач визначення структури мережі та її параметрів, що відзначається і в роботі. Тому слід було б більш детально розглянути ці питання, як і питання спрощення структури ШНМ. Відносно останнього слід зазначити, що на цей час існує декілька підходів, що відрізняються багатьма властивостями, зокрема обчислювальною складністю.

2. Для навчання ШНМ в роботі використовується метод зворотнього поширення помилки, який має багато недоліків. Слід було б використати більш

розвинену модифікацію цього методу, наприклад, з використанням моментів та вибором їх оптимальних параметрів, з регуляризацією рішень, QuickProp, RPROP, тощо.

3. Зміна зовнішніх умов призводить до нестационарності об'єкту керування, що досліджується (ТП). Для цього випадку слід було б розглянути питання адаптації структури, параметрів нейромережевих моделей, а можливо, і алгоритму навчання до цих змін.

4. Автор використовує ланку з декількох РБМ моделей, вихід з кожної є вхідним параметром для наступної: РБМ $\varphi^*(G)$ формує завдання кута повороту дискового затвору для обчислення РБМ тривалості подачі керуючої напруги на ЕП: $\tau_{\text{м}}(n) = F_{\text{Ах}}(\varphi(n-1), \varphi(n), \Delta\varphi(n), t_{\varphi}(n-1), t_{\varphi}(n))$. На мій погляд, варто було б побудувати одну, але більш ускладнену модель.

5. Варто було б провести порівняльний аналіз ефективності перцептронної моделі та моделі на основі радіально-базисних мереж, тим більше, що в дисертації викристано перцептронну модель для побудови нейросупервізора.

6. При розробці нейросупервізора в роботі без пояснень використовуються сигмоїдальні функції активації.

7. Варто було б більш докладно надати обґрунтованість застосування моделі Мамдами по відношенні до інших (модель Сугено, тощо).

8. Оформлення дисертації відповідає вимогам, але у роботі є використання некоректних термінів, як то "управління", а не "керування", с.23 (Методи дослідження), використання російськомовних виразів, с.33 "тихому ході", а не, наприклад, "повільному", а також мають місце помилки орфографічного характеру.

Зазначені недоліки не є принциповими і суттєво не зменшують загального позитивного враження від поданої наукової роботи.


Висновки

Дисертація Ілюніна Олега Олеговича є завершеною науковою роботою, у якій отримані нові наукові та практичні результати, що вирішують важливу науково-технічну задачу синтезу деяких контурів автоматизованої системи інтелектуального керування процесом безперервного травління смугової сталі для підвищення ефективності функціонування БТА, економії водних, технологічних та

енергетичних ресурсів. Актуальність і практична важливість результатів роботи підтверджується актами впровадження.

Вважаю, що актуальність теми, наукова новизна, ступень обґрунтованості наукових результатів, практична цінність, повнота викладення результатів у працях здобувача та оформлення дисертаційної роботи повністю відповідає вимогам до кандидатських дисертацій, зокрема, пунктам 9, 11 – 14 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Ілюнін Олег Олегович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент
професор кафедри безпеки життєдіяльності та права
Харківського національного технічного університету
сільського господарства ім. Петра Василенка,
доктор технічних наук, професор

 С.О. Ляшенко

Підпис проф. Ляшенко С.О. засвідчую:

