

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ЛЮТА АНАСТАСІЯ ВОЛОДИМИРІВНА



УДК 681.52: 621.365.2

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
ПРИВОДОМ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ
ДУГОВИХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПЕЧЕЙ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Донецьк – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Донбаській державній машинобудівній академії Міністерства освіти і науки України (м. Краматорськ) та завершена в Державному вищому навчальному закладі «Донецький національний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (м. Донецьк).

Наукові керівники: кандидат технічних наук, доцент

Панкратов Анатолій Іванович,

Донбаська державна машинобудівна академія, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів (м. Краматорськ);

доктор технічних наук, професор

Толочко Ольга Іванівна,

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», завідувач кафедри електроприводу і автоматизації промислових установок (м. Донецьк)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Паранчук Ярослав Степанович,

Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок (м. Львів);

кандидат технічних наук, професор

Коцюбинський Віктор Семенович,

Донбаський державний технічний університет, професор кафедри автоматизованих електромеханічних систем (м. Алчевськ)

Захист відбудеться «27» червня 2013 р. о 13³⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 11.052.02 в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, корпус 8, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, корпус 2.

Автореферат розісланий « » _____ 2013 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 11.052.02,

канд. техн. наук, доцент



А.М. Ларін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ключову роль в металургійній галузі становить сталеплавлення. На виробництво сталі у всьому світі витрачається близько 60% енергії. Стан сталеплавлення в Україні і Росії істотно відстає від рівня США, Німеччини, Японії та інших країн за кількістю і показниками роботи великовантажних печей, що пов'язано з недостатнім рівнем і якістю автоматичного керування приводами дугових сталеплавильних печей (ДСП) змінного струму.

Період плавлення шихти в ряді випадків становить більше половини тривалості всієї плавки. У цей період витрачається близько 60-80% енергії, споживаної на плавку. Дуги горять не стійко, може відбуватися до 200 експлуатаційних коротких замикань протягом однієї плавки, які призводять до порушень роботи регуляторів переміщення електродів і збільшують тривалість плавки.

При експлуатаційних коротких замиканнях (к. з.) між гнучкими кабелями (ГК) трьох фаз виникають електродинамічні зусилля, що є поштовхом до виникнення вільних загасаючих коливань гнучких кабелів. При цьому змінюються відстані між ними, що призводить до зміни взаємних індуктивностей фаз. В струмах фаз також виникають відповідні модульовані затухаючі коливання, які передаються електродам, тому що регулятори відпрацьовують будь-які зміни електричних параметрів силового кола. Такі нестійкі режими роботи можуть тривати десятки хвилин, що призводить до збільшення тривалості розплавлення, зайвої витрати енергії.

Літературний огляд вітчизняних і зарубіжних джерел і дослідження існуючих методів компенсації електромеханічних коливань гнучких кабелів та математичних моделей електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП показав, що до цього часу не було знайдено рішення задачі, що розглядається. Були проведені дослідження впливу коливань гнучких кабелів на зміни взаємних індуктивностей і струмів фаз, але існуючі математичні моделі не враховували вплив коливань гнучких кабелів на процес зміни довжин дуг.

Таким чином, розробка заходів та засобів, що дозволяють підвищити ефективність роботи печі за рахунок удосконалення систем управління приводом переміщення електродів (СУ ППЕ) ДСП, є актуальною науково-технічною задачею.

Під ефективністю роботи ДСП розуміється підвищення стабільності процесу плавки, скорочення тривалості плавки та зменшення енергоспоживання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації пов'язана з планом науково-технічних робіт Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА). Дисертаційна робота відповідає держбюджетним НДР кафедри автоматизації виробничих процесів ДДМА Дк-06-2008 «Удосконалення енергозберігаючих технологій в автоматизованих системах машинобудування та металургії» (№ державної реєстрації 0108U010081), Дк-06-2011 «Підвищення ефективності автоматизації технологічних процесів металургії та машинобудування» (№ державної реєстрації 0111U007640).

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності роботи дугових сталеплавильних печей за рахунок удосконалення систем управління приводом переміщення електродів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

– розробка математичної моделі електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП, яка враховує електромеханічні коливання гнучких кабелів;

– аналіз впливу показників електромеханічних коливань гнучких кабелів при експлуатаційних коротких замиканнях на стабільність процесу плавки за допомогою розробленої моделі;

– підтвердження адекватності розробленої моделі шляхом виконання експериментальних досліджень системи управління приводом переміщення електродів ДСП у виробничих умовах;

– розробка системи управління приводом переміщення електродів ДСП, що компенсує електромеханічні збурення, пов'язані з процесом коливання гнучких кабелів, на основі паралельної фазі-корекції;

– розробка пристрою захисту електродів при упорі в струмонепровідну шихту з метою підвищення надійності роботи електродів.

Об'єктом досліджень є процеси управління приводом переміщення електродів дугових сталеплавильних печей.

Предметом досліджень є системи управління приводом переміщення електродів дугових сталеплавильних печей.

Методи досліджень. При математичному описі електромеханічного об'єкта використані нелінійні диференціальні рівняння, в тому числі рівняння Кассі для опису електричної дуги і узагальнене рівняння Лагранжа при описанні коливань гнучких кабелів. Аналіз динамічних властивостей об'єкта виконаний методом цифрового математичного моделювання з використанням методів чисельного розв'язання звичайних диференціальних рівнянь та методів лінійної алгебри. При розробці способу компенсації електромеханічних збурень в системі управління приводом переміщення електродів ДСП були використані методи нечіткої логіки. Достовірність результатів аналітичних досліджень і математичного моделювання підтверджено експериментальними дослідженнями, виконаними на ДСП-50 ПАТ НКМЗ, а також за допомогою статистичного аналізу даних, використовуючи М-критерій Барлетта.

Наукова новизна одержаних результатів:

– набула подальшого розвитку математична модель електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП, яка відрізняється від відомих тим, що враховує вплив електромеханічних коливань гнучких кабелів на процес зміни довжин електричних дуг;

– вперше синтезовано фазі-коректори, що здійснюють компенсацію електромеханічних коливань гнучких кабелів та дозволяють підвищити ефективність роботи печі.

Практична значимість отриманих результатів підтверджується актами впровадження у виробництво, в навчальному процесі та трьома патентами України, а саме:

- розроблена методика використання уточненої математичної моделі для встановлення взаємозв'язку між коливаннями гнучких кабелів та змінами довжин дуг ДСП;

- розроблена методика експериментальних досліджень на дуговій сталеплавильній печі ДСП-50 ПАТ НКМЗ, яка дозволяє встановити параметри електромеханічних коливань гнучких кабелів системи керування приводом переміщення електродів ДСП;

- розроблена методика оптимізації системи управління приводом переміщення електродів ДСП, що дозволяє зменшити чутливість системи управління приводом переміщення електродів до зовнішніх електромеханічних збурень, пов'язаних з процесом коливання гнучких кабелів, і тим самим підвищити стабільність процесу плавки за рахунок зменшення дисперсії довжин дуг на 94-98 % та зменшити енергоспоживання на 5,3 % за рахунок скорочення тривалості плавки на 3,2 %;

- розроблено пристрій захисту електродів при упорі в струмонепровідну шихту, який дозволяє підвищити надійність роботи електродів.

Розроблені моделі, алгоритми та методики, які необхідні для побудови вдосконаленої системи керування приводом переміщення електродів, використовуються у курсовому та дипломному проектуванні, в лекційному курсі з дисциплін «Технічні засоби автоматизації», «Автоматизація технологічних процесів та виробництва», в магістерських роботах студентами спеціальності 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» ДДМА, що підтверджується відповідними актами. Спосіб компенсації електромеханічних збурень в ДСП підтверджується патентом України № 76205. Пристрій для керування електричним режимом ДСП при упорі в струмонепровідну шихту підтверджується патентом України № 34774. Датчик швидкості зміни тиску, що використовується при розробці пристрою захисту електродів ДСП, підтверджується патентом України № 34775. Методика оптимізації системи управління приводом переміщення електродів ДСП затверджена КПЦ «Автоматика» ПАТ НКМЗ і прийнята для промислового використання, що підтверджується відповідним актом.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення і результати дисертації отримані автором самостійно під контролем наукових керівників.

Здобувачем виконано: розробка математичної моделі електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП, що враховує коливання гнучких кабелів; оцінка впливу електромеханічних коливань гнучких кабелів ДСП при експлуатаційних коротких замиканнях на модуляцію коливань електричних параметрів короткої мережі та на стабільність горіння електричних дуг; розробка методики експериментальних досліджень на ДСП-50 ПАТ НКМЗ; розробка системи управління приводом переміщення електродів ДСП, яка компенсує коливання гнучких кабелів, на основі паралельної фазі-корекції; розробка нового пристрою для керування електричним режимом ДСП при упорі в струмонепровідну шихту.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертаційної роботи пройшли апробацію на наступних науково-технічних конференціях:

- Міжнародна науково-практична конференція «Сучасний електропривод, інформац. технології і сист. автоматизації» (25-27 березня 2009 р., Краматорськ);
- XI Міжнародна науково-технічна конференція «Електромеханічні системи, методи модел. та оптимізації» (13-15 травня 2009 р. м. Кременчук);
- VI та VII Міжнародні конференції «Стратегія якості в промисловості та освіті» (червень 2010 р., 2011 р. Технічний університет-Варна Болгарія);
- XVII міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» (20-25 вересня 2010 р. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Україна, Крим);
- Всеукраїнська науково-технічна конференція «Современные информационные технологии, средства автоматизации и электропривод», посвященная 60-летию ДГМА (17-21 декабря 2012 г., Краматорск, Украина, ДГМА);
- Международная научно-практическая конференция «Современный электропривод, информационные технологии и системы автоматизации» (25-27 марта 2009 г., Украина, м. Краматорск, ДГМА);
- XXXIII Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науково-технічних працівників, аспірантів і студентів (12-22 квітня 2011 року, м. Краматорськ, ДДМА).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 12 праць, з яких 6 у наукових фахових виданнях (1 стаття опублікована в журналі, що входить до Бази даних Scopus), 2 опубліковано в матеріалах міжнародних конференцій, 3 патенти України, 1 теза доповідей.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 5 додатків. Повний обсяг роботи – 208 сторінок, з них 140 сторінка основного тексту, 49 рисунків і 12 таблиць, з них 10 рисунків та 1 таблиця на окремих сторінках, список використаних джерел з 203 найменувань на 22 сторінках, 5 додатків на 35 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі роботи «Аналіз систем управління приводами переміщення електродів дугових сталеплавильних печей» розглянуті особливості роботи дугових сталеплавильних печей змінного струму як об'єктів автоматичного управління, системи приводів переміщення електродів ДСП, принципи побудови різних систем управління ППЕ ДСП. Особливу увагу було приділено збуренням, які виникають під час періоду розплаву металу в СУ ППЕ ДСП, зокрема електромеханічним збуренням, які пов'язані з коливаннями ГК під час експлуатаційних к. з., які порушують нормальну роботу автоматичних РПЕ та погіршують ефективність роботи печі.

В ході літературного огляду було виявлено, що відомі принципи та способи управління ППЕ та електричним режимом ДСП не передбачають компенсацію

електромеханічних коливань гнучких кабелів, що вказує на актуальність роботи. На підставі проведеного аналізу сформульована мета і поставлені задачі, необхідні для її досягнення.

У другому розділі «Математичне моделювання електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП» отримала подальший розвиток математична модель електромеханічної СУ ППЕ ДСП, що враховує вплив електромеханічних коливань гнучких кабелів на зміни дуг. Математичне моделювання електричних процесів в ДСП було проведено з використанням диференціальних рівнянь, які достатньо точно та адекватно описують процеси, що відбуваються в електричних колах з дугами. При моделюванні трифазного електричного кола ДСП (1) були враховані зміни взаємних індуктивностей між ГК трьох фаз $L_{AB}(b_{AB})$, $L_{BC}(b_{BC})$, $L_{AC}(b_{AC})$, а електрична динаміка дуг була врахована за допомогою диференціальних рівнянь Кассі (2).

$$\left. \begin{aligned} U_A(t) &= r_A \cdot i_A(t) + L_A \cdot \frac{di_A(t)}{dt} + L_{AB}(b_{AB}) \cdot \frac{di_B(t)}{dt} + L_{AC}(b_{AC}) \cdot \frac{di_C(t)}{dt} + \frac{i_A(t)}{g_A(t)}; \\ U_B(t) &= r_B \cdot i_B(t) + L_B \cdot \frac{di_B(t)}{dt} + L_{AB}(b_{AB}) \cdot \frac{di_A(t)}{dt} + L_{BC}(b_{BC}) \cdot \frac{di_C(t)}{dt} + \frac{i_B(t)}{g_B(t)}; \\ U_C(t) &= r_C \cdot i_C(t) + L_C \cdot \frac{di_C(t)}{dt} + L_{AC}(b_{AC}) \cdot \frac{di_A(t)}{dt} + L_{BC}(b_{BC}) \cdot \frac{di_B(t)}{dt} + \frac{i_C(t)}{g_C(t)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $U_A(t), U_B(t), U_C(t)$ – фазні напруги; $i_A(t), i_B(t), i_C(t)$ – фазні струми; r_A, r_B, r_C – повні еквівалентні активні опори фаз А, В і С; $L_A, L_B, L_C, L_{AB}(b_{AB}), L_{BC}(b_{BC}), L_{AC}(b_{AC})$ – повні еквівалентні індуктивності фаз та взаємні індуктивності між фазами; $g_A(t), g_B(t), g_C(t)$ – електричні провідності дуг, які визначаються з рівнянь Кассі. Для фази А це рівняння має вид

$$\theta \frac{dg_A(t)}{dt} = \frac{i_A^2(t)}{U_{\partial A}^2(t)} - g_A^2(t), \quad (2)$$

де θ – стала часу, що залежить від періоду плавки; $U_{\partial A}(t)$ – діюче значення напруги дуги фази А. Для двох інших фаз рівняння Кассі аналогічні.

Зміна взаємних індуктивностей між гнучкими кабелями фаз А і В визначається із формули (3) та залежить від відстаней між гнучкими кабелями. Взаємні індуктивності між іншими парами фаз визначаються подібним чином.

$$L_{AB}(b_{AB}) = L_{BA}(b_{AB}) = \frac{\mu_0 \ell}{\pi} \left(\ln \frac{2\ell}{b_{AB}} - 1 \right), \quad (3)$$

де μ_0 – магнітна проникність повітря; ℓ – довжина гнучкого кабелю; b_{AB} , b_{BC} , b_{AC} – відстані між ГК, що відхиляються, які було виражено шляхом представлення гнучких кабелів у вигляді математичних маятників (рис. 1) та визначення законів їх коливань за допомогою використання узагальненого рівняння Лагранжа та визначення рівняння провисання кабелів.

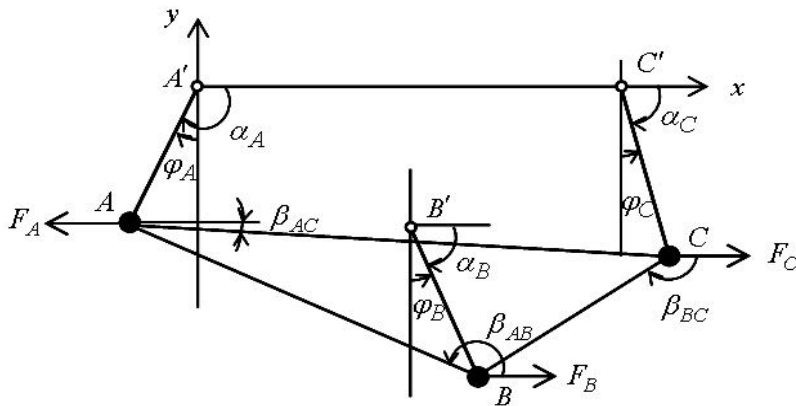


Рисунок 1 – Схема представлення гнучких кабелів у вигляді математичних маятників

змінюються в часі. Для двох інших фаз теорема моментів має подібний вигляд.

$$J_{A'} \varphi_A''(t) = -m^* g \ell^* \sin \varphi_A(t) - \mu \varphi_A'(t) + M_{F_A}(t), \quad (4)$$

де $J_{A'}$ – момент інерції маятника (гнучкого кабелю) відносно нерухомої точки A' , $J_{A'} = J_{B'} = J_{C'}$; m^* , ℓ^* – приведені маса та довжина маятника, що визначаються з використанням рівняння Лагранжа та при знаходженні рівняння провисання кабелю; μ – коефіцієнт в'язкого тертя; $M_{F_A}(t)$, $M_{F_B}(t)$, $M_{F_C}(t)$ – моменти електродинамічних зусиль фаз.

В рівнянні (4) відомі усі параметри, крім залежностей кутів відхилення маятників і залежностей моментів електродинамічних зусиль фаз, які можна визначити використовуючи рис. 1:

$$M_{F_A}(t) = \sin(\beta_{AB}(t) - \pi - \alpha_A(t)) \cdot F_{AB}(t) \cdot \ell^* + \sin(\beta_{AC}(t) - \alpha_A(t)) \cdot F_{AC}(t) \cdot \ell^*; \quad (5)$$

$$M_{F_B}(t) = \sin(\beta_{AB}(t) - \alpha_B(t)) \cdot F_{AB}(t) \cdot \ell^* +$$

На рис. 1 прийняті наступні позначення: F_A, F_B, F_C – електродинамічні зусилля, що діють на ГК фаз А, В і С; $AB = b_{AB}$; $BC = b_{BC}$; $AC = b_{AC}$; $A'A = B'B = C'C = \ell^*$ – довжина маятника.

Скористаємось теоремою моментів відносно нерухомої точки A' (4) для фази А та врахуємо, що при коливаннях гнучких кабелів їх параметри

$$+ \sin(\beta_{BC}(t) - \pi - \alpha_B(t)) \cdot F_{BC}(t) \cdot \ell^*; \quad (6)$$

$$M_{FC}(t) = \sin(\beta_{AC}(t) - \pi - \alpha_C(t)) \cdot F_{AC}(t) \cdot \ell^* + \\ + \sin(\beta_{BC}(t) - \alpha_C(t)) \cdot F_{BC}(t) \cdot \ell^*. \quad (7)$$

В рівняннях (5)-(7) відомі усі параметри, крім залежностей електродинамічних зусиль фаз $F_{AB}(t)$, $F_{BC}(t)$, $F_{AC}(t)$ та кутів $\alpha(t)$ и $\beta(t)$.

Електродинамічні зусилля між гнучкими кабелями фаз А і В визначаються із залежності (8). Електродинамічні зусилля між іншими парами фаз визначаються подібним чином.

$$F_{AB}(t) = F_{BA}(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{\ell}{b_{AB}(t)} \cdot i_A(t) \cdot i_B(t). \quad (8)$$

У формулу для обчислення електродинамічних зусиль між двома токопроводами входить відстань між ними, що змінюється в часі. Для того, щоб отримати залежності електродинамічних зусиль між гнучкими кабелями, необхідно визначити закони зміни відстаней між ними при їх механічних низькочастотних коливаннях, які разом з кутами $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ можна визначити за допомогою рис. 1.

Координати точок A', B', C' ; A, B, C з урахуванням того, що маятники коливаються в часі: $A'(x_{A'}, y_{A'})$; $B'(x_{B'}, y_{B'})$; $C'(x_{C'}, y_{C'})$; $A(x_A(t), y_A(t))$; $B(x_B(t), y_B(t))$; $C(x_C(t), y_C(t))$, де $x_{A'}, x_{B'}, x_{C'}, y_{A'}, y_{B'}, y_{C'}$ – відомі координати, пов'язані з конструктивним взаємним розташуванням гнучких кабелів, а координати $x_A(t)$, $x_B(t)$, $x_C(t)$, $y_A(t)$, $y_B(t)$, $y_C(t)$ можна визначити з рис. 1. Для точки А координати мають вигляд: $A(x_{A'} + \ell^* \sin \varphi_A(t), y_{A'} + \ell^* \cos \varphi_A(t))$, для двох інших точок координати визначаються аналогічно.

Тоді відстані між маятниками фаз А і В, що відхиляються, визначаються наступним чином (відстані між іншими парами фаз визначаються аналогічно):

$$b_{AB}(t) = AB = \\ = \sqrt{(x_{B'} + \ell^* \sin \varphi_B(t) - x_{A'} - \ell^* \sin \varphi_A(t))^2 + (y_{B'} + \ell^* \cos \varphi_B(t) - y_{A'} - \ell^* \cos \varphi_A(t))^2}. \quad (9)$$

Підставляючи вирази змін відстаней $b_{AB}(t), b_{BC}(t), b_{AC}(t)$ між маятниками, що відхиляються, в формули виразів електродинамічних зусиль, можна визначити зміни електродинамічних зусиль між гнучкими кабелями.

Кут $\alpha_A(t)$ з рис. 1 з урахуванням того, що маятник коливається в часі, визначається: $\alpha_A(t) = \varphi_A(t) - \pi/2$. Кути $\alpha_B(t), \alpha_C(t)$ визначаються подібним чином.

Кути $\beta_{AB}(t), \beta_{BC}(t), \beta_{AC}(t)$ визначаються з рис. 1 однаково. Кут $\beta_{AB}(t)$ визначається:

$$\beta_{AB}(t) = \arctg \left(\frac{y_{B'} - y_{A'} + \ell^* (\cos \varphi_B(t) - \cos \varphi_A(t))}{x_{B'} - x_{A'} + \ell^* (\sin \varphi_B(t) - \sin \varphi_A(t))} \right). \quad (10)$$

Підставляючи вираження змін кутів $\alpha(t)$ і $\beta(t)$, приведені довжини ℓ^* математичних маятників, а також зміни електродинамічних зусиль між маятниками, можна визначити зміни моментів електродинамічних зусиль між гнучкими кабелями (5)-(7).

Підставляючи момент інерції маятників відносно нерухомої точки, приведені маси m^* маятників, моменти $M_{FA}(t), M_{FB}(t), M_{FC}(t)$ електродинамічних зусиль між гнучкими кабелями, отримуємо систему трьох диференціальних рівнянь другого порядку, вирішуючи яку відносно кутів відхилення $\varphi(t)$ гнучких кабелів від вертикалі, можна визначити зміни відстаней $b_{AB}(t), b_{BC}(t), b_{AC}(t)$ між маятниками, що відхиляються.

Оскільки система нелінійна та дуже складно записати її рівняння після всіх підстановок відомих і виражених величин, то вирішувати її аналітично не представляється можливим. В математичному ліцензійному програмному пакеті *Matlab Simulink* була розроблена модель електромеханічної системи ДСП, яка враховує взаємозв'язки параметрів коливань гнучких кабелів з електричними параметрами.

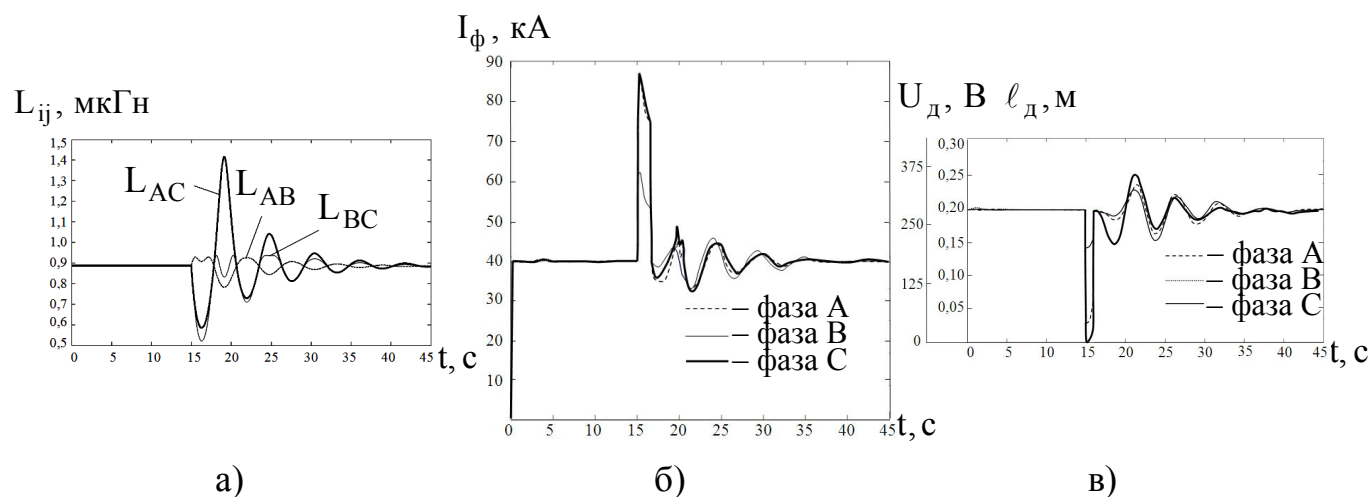
При побудові моделі електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП за основу була прийнята ДСП-50 з імпедансними регуляторами переміщення електродів. Після реалізації розробленої математичної моделі в програмному середовищі *MatLab Simulink* було проведено дослідження впливу електромеханічних збурень при експлуатаційному к. з. в фазі С (див. рис. 2) на електричні параметри силового кола, а також на стабільність роботи регуляторів переміщення електродів. З графіків на рис. 2 видно, що з 15-ої секунди мають місце низькочастотні коливання значень взаємних індуктивностей, діючих значень струмів дуг, напруг дуг та довжин дуг. Частота цих коливань складає 0,18 Гц, що повністю збігається з частотами коливань гнучких кабелів, які пов'язані з їх довжиною. А час коливань усіх наведених параметрів складає у середньому 20 с. Із взаємозв'язку між довжиною дуги та її напругою впливає те, що зміна напруги дуги змінюється пропорційно зміні довжини дуги цієї фази. Різкий зріст струмів дуг та різке зменшення напруг та довжин дуг в момент часу 15 с тривалістю 1 с

пов'язані з імітацією короткого замикання фази С. Коливання довжин дуг після к. з. є результатом реакції регуляторів переміщення електродів на модуляції електричних параметрів, які виникають при флуктуаціях взаємних індуктивностей.

Глибина модуляції струмів дуг фаз складає 13-21%, а дисперсії довжин дуг – 50-117 мм². Такі показники збурень призводять до збільшення тривалості розплавлення та до зайвих витрат енергії, знижують ефективність роботи печі.

Виявлено, що 55 % від всього часу плавлення піч працює нестабільно із залишковим витрачанням електроенергії при реакції РПЕ на зовнішні збурення, пов'язані з коливаннями ГК. При цьому електроди здійснюють поздовжні коливання, що може також призводити до їх поломок.

Проведені дослідження та отримані показники електромеханічних збурень дають можливість розробити спосіб компенсації електромеханічних коливань з метою підвищення ефективності роботи печі.



а – графіки зміни взаємних індуктивностей ГК; б – графіки зміни діючих значень струмів дуг; в – графіки зміни діючих значень напруг дуг та зміни довжин дуг
 Рисунок 2 – Результати моделювання при експлуатаційному к. з. в фазі С ДСП-50

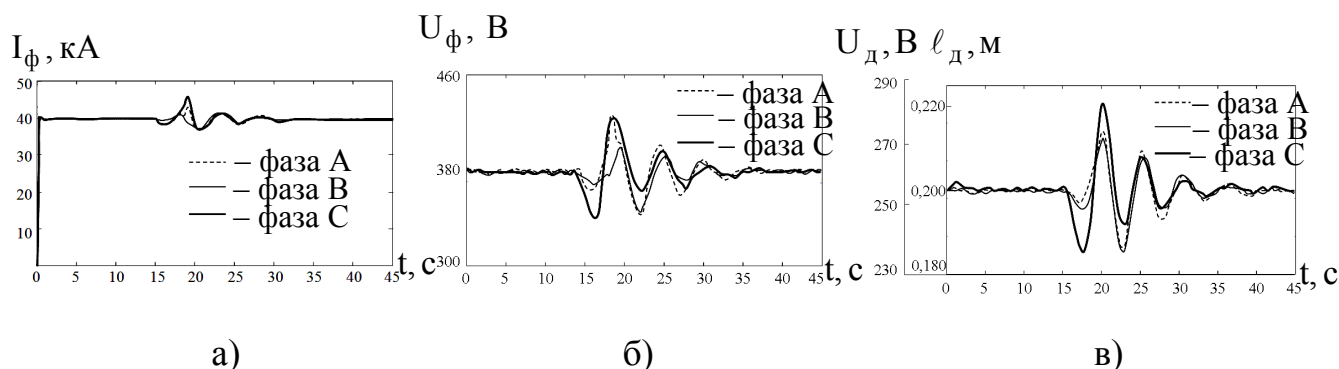
У третьому розділі «Експериментальні дослідження системи управління приводом переміщення електродів ДСП-50 при електромеханічних зовнішніх збуреннях у виробничих умовах» розроблена методика та програма експериментальних досліджень на дуговій сталеплавильній печі ДСП-50 ПАТ НКМЗ, яка дозволила встановити показники зовнішніх збурень системи управління ППЕ ДСП експериментально та перевірити адекватність розроблених математичних моделей.

Суть експериментальних досліджень полягає в тому, що в певний момент часу в період доводки металу, коли дуги горять стійко, оператор тягне за ізолюваний канат, що прив'язаний до гнучкого кабелю фази, та таким чином відхиляє його від вертикальної вісі на деякий кут, який фіксується потім при кадровій розгортці відеофайлу спостереження, та відпускає канат. Кабель починає здійснювати вільні затухаючі коливання. При цьому змінюються електричні параметри силового кола ДСП, які фіксуються з датчиків та заносяться в пам'ять диску сервера управління базами даних, після чого проводиться обробка масивів даних експериментів.

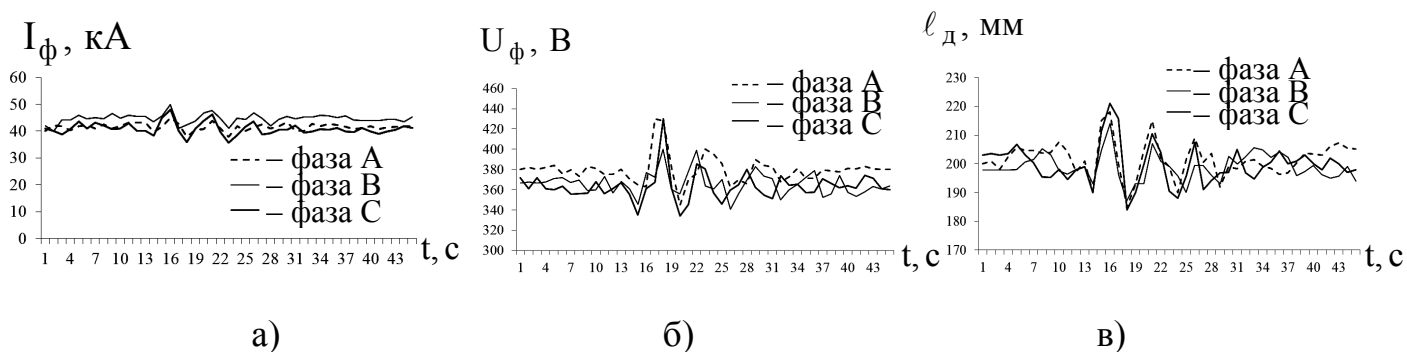
Порівняння графіків, що було отримано шляхом моделювання та експериментально, наведено на рис. 3, 4. Розкид параметрів при порівнянні результатів досліджень у розробленій моделі електромеханічної системи ДСП-50 та під час експерименту не виходить за межі 5 %, що свідчить про те, що розроблена модель адекватна фізичному процесу.

Статистичний аналіз даних за допомогою М-критерію Барлетта підтвердив адекватність розробленої математичної моделі електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів дугової сталеплавильної печі фізичному об'єкту.

Встановлено, що гранична похибка інформаційно-вимірювальної системи дугової сталеплавильної печі ДСП-50 не перевищує 5 %.



а – графіки зміни діючих значень струмів дуг; б – графіки зміни діючих значень фазних напруг; в – графіки зміни діючих значень напруг дуг та зміни довжин дуг
Рисунок 3 – Результати моделювання при імітації коливання ГК фази С ДСП-50



а – графіки змін струмів фаз (дуг); б – графіки змін фазних напруг;
в – графіки змін довжин дуг

Рисунок 4 – Зміни електричних параметрів силового кола при коливанні ГК фази С, отримані експериментально

У четвертому розділі «Розробка вдосконаленої системи управління приводом переміщення електродів ДСП» розроблено спосіб компенсації електромеханічних коливань гнучких кабелів ДСП шляхом синтезу фазі-коректорів, що дозволяють підвищити ефективність роботи печі.

В якості методу оптимізації електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП використовувався метод мінімізації дисперсії довжини дуги з метою її стабілізації. Дисперсія довжини дуги визначається

за формулою $\sigma_\ell^2 = m[(\ell_\partial - m_\ell)^2]$, де ℓ_∂ – поточне розрахункове значення довжини дуги; m_ℓ та σ_ℓ^2 – математичне очікування і дисперсія довжини дуги; σ_ℓ – середньоквадратичне відхилення довжини дуги.

Збурення в силовому колі призводять до модуляцій електричних параметрів короткої мережі, на які реагують регулятори переміщення електродів. Таким чином, сигнали з виходів регуляторів передаються на привод переміщення електродів, тому довжини дуг починають змінюватися, оскільки зміни довжин дуг відбуваються при перетворенні сигналів управління з виходів регулювальників та сигналів розузгодження.

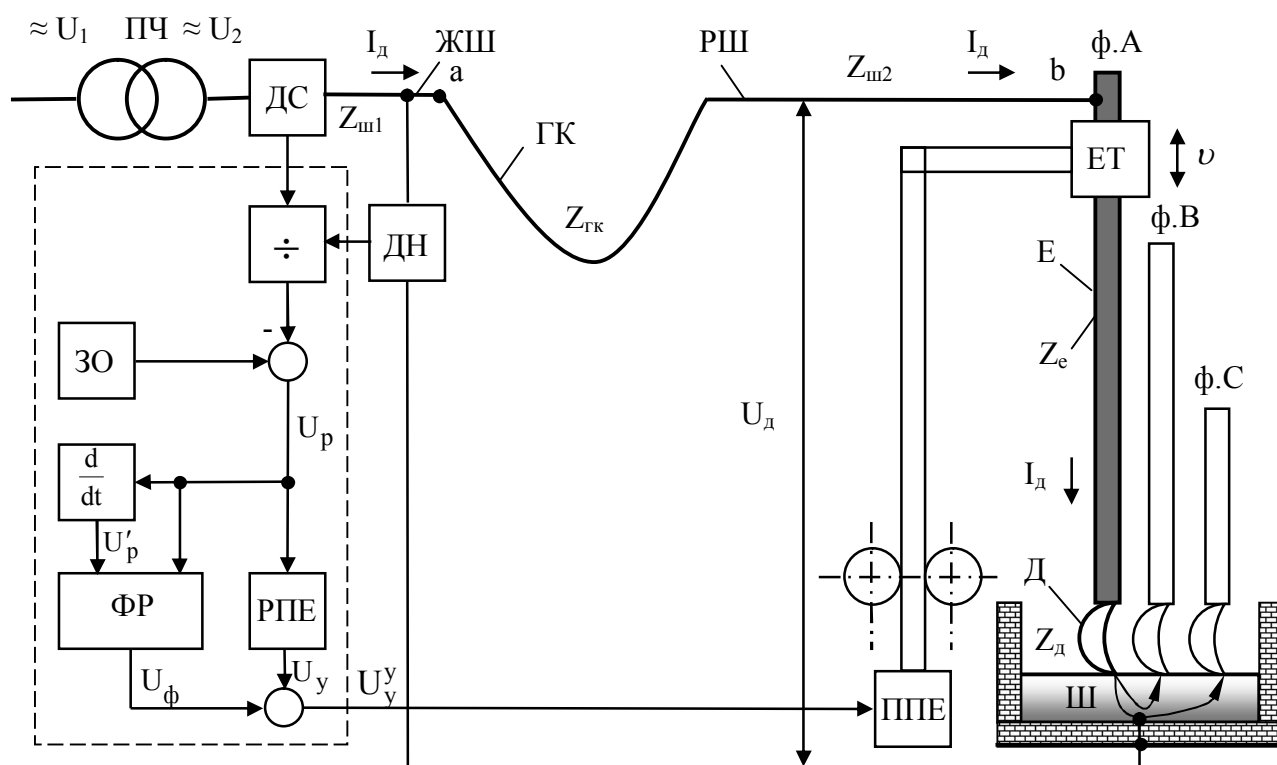
Таким чином, оптимізація електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП з мінімізації дисперсії довжини дуги зводиться до мінімізації дисперсії сигналу розузгодження з виходу блока поділу напруги фази на струм дуги, тобто з виходу імпедансного регулятора переміщення електрода.

Існуючі системи регулювання переміщення електродів ДСП не компенсують електромеханічні збурення, оскільки не гасять, а навпаки підсилюють та підвищують тривалість дії збурень та знижують продуктивність печі. Причиною цього є значна інерційність існуючих одноконтурних електромеханічних або електрогідравлічних систем регулювання положення електродів та наявність інтенсивних перехресних взаємовпливів між фазними каналами цих систем, які негативно впливають на швидкодію і динамічну точність регулювання довжин дуг.

Розробка вдосконаленої системи управління реалізована із застосуванням сучасних інтелектуальних технологій і принципів нечіткого управління. Для виключення наслідків збурюючих впливів пропонується використовувати паралельну фазі-корекцію сигналів з виходів імпедансних РПЕ. Її застосування дозволить зберегти всі колишні функції існуючого регулятора і забезпечити миттєву реакцію на зовнішні впливи, пов'язані з коливаннями гнучких струмопроводів завдяки функції прогнозування. Відповідно до алгоритму був розроблений спосіб компенсації електромеханічних збурень в СУ ППЕ ДСП (рис. 5).

На рис. 5 прийняті наступні позначення: ПЧ – пічний трансформатор; ЖШ – жорстка шина; ГК – гнучкий кабель; РШ – рухома шина; ЕТ – електродотримач; Е – електрод; Д – дуга; Ш – шихта; ДС – датчик струму дуги; ДН – датчик напруги; РПЕ – регулятор переміщення електрода (П, Ш або ПШ); ЗО – задатчик опору; ППЕ – привод переміщення електродів; ф.А, ф.В, ф.С – фази А, В, С.

Суть способу компенсації електромеханічних збурень полягає в тому, що в кожній фазі паралельно існуючому регулятору РПЕ підключається фазі-регулятор ФР, на перший вхід якого подається сигнал розузгодження U_p , а на другий – через диференціатор похідна U'_p цього сигналу. На виході фазі-регулятора формується сигнал U_ϕ в протифазі сигналу розузгодження. Після підсумовування сигналів з виходу регулятора та з виходу фазі-регулятора ФР на ППЕ поступає скомпенсований сигнал без збурення.



Рисуюнок 5 – Структурна схема вдосконаленої СУ ППЕ ДСП

Після аналізу вхідних та вихідних сигналів фазі-регулятора за допомогою розробленої моделі, була визначена кількість лінгвістичних змінних, інтервали варіювання, тип функцій приналежності, розроблені лінгвістичні правила (табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри фазі-контролера

Тип фазі-блоків	Вхідні сигнали	Інтервали варіювання			Кількість лінгвістичних змінних			Тип функцій приналежності			Кількість фазі-правил
		U_p	U'_p	U_ϕ	U_p	U'_p	U_ϕ	U_p	U'_p	U_ϕ	
Мамдані	U_p, U'_p	[-10;10]	[-8;8]	[-2;2]	7	7	5	Функції Гауса, сігма-функції, сплайнова крива	49		

Результати моделювання розробленої вдосконаленої СУ ППЕ ДСП наведені на рис. 6, 7. В результаті використання вдосконаленої СУ ППЕ ДСП дисперсії довжин дуг зменшилися на 94-98 %.

Результати розробки способу компенсації електромеханічних збурень ДСП можуть бути використані для будь-яких ДСП змінного струму. Даний спосіб управління ППЕ може бути реалізований на базі діючих мікропроцесорних СУ ДСП без додаткових капітальних витрат. Кількість входів та виходів фазі-регуляторів, тип функцій належності та фазі-правила змінювати не потрібно. Слід відкоригувати тільки інтервали варіювання вхідних і вихідних змінних.

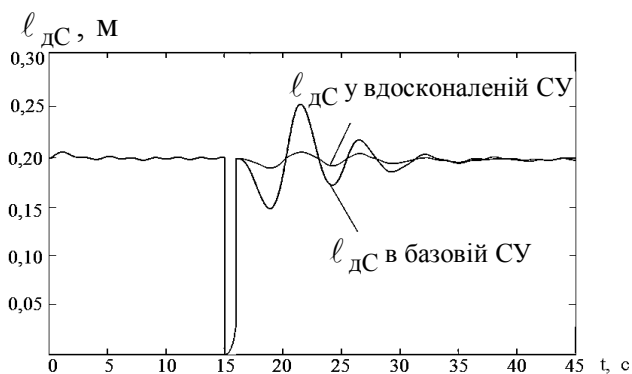


Рисунок 6 – Графіки зміни довжин дуг фази С при короткому замиканні в базовій та вдосконаленій системах управління



Рисунок 7 – Графіки зміни довжин дуг фази С при імітації збурення в базовій та вдосконаленій системах управління

Також в розділі пропонується пристрій захисту електродів дугових сталеплавильних печей, що підтверджується патентом, який відрізняється від відомих тим, що крім стандартного набору елементів для управління електричним режимом ДСП, містить диференціатор тиску, що підтверджується патентом, та вібродатчики.

Перевагою пропонованого пристрою для управління електричним режимом дугової електропечі в порівнянні з іншими відомими пристроями є підвищення швидкодії і чутливості, а отже, надійності захисту електродів, за рахунок застосування замість інерційного (2-10 с) датчика тиску, на виході якого формується сигнал, пропорційний рівню тиску, швидкодіючих (2-5 мс) диференціатора тиску, підтверженого патентом, на виході якого формується сигнал, пропорційний швидкості зміни тиску, і вібродатчика, на виході якого формується сигнал, пропорційний прискоренню електрода, що відрізняються від датчика тиску функціональним призначенням і конструкцією.

Також в четвертому розділі наведені практичні рекомендації щодо підвищення точності позиціонування електродів з імпедансними регуляторами переміщення електродів. Виконано дослідження впливу положення датчика напруги на роботу імпедансного регулятора переміщення електродів, запропоновано позиціонування датчика в зоні електричного кола, що найменш віддалена від дуги, що дозволить зменшити відносну похибку позиціонування електрода на 91,1%. Дану пропозицію по перенесенню датчика напруги призведе до зменшення похибок позиціонування і для інших типів регуляторів переміщення електродів.

У додатках наведено: документ, що підтверджує факт передавання ДДМА прав ліцензійного використання програмного продукту *MatLab*; електричні та геометричні параметри ДСП-50; програма експериментальних досліджень на ДСП-50 ПАТ НКМЗ; документи, що підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи; економічна оцінка ефективності впровадження результатів досліджень у виробництво та акти впровадження.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішена актуальна науково-технічна задача підвищення ефективності роботи дугових сталеплавильних печей за рахунок удосконалення систем управління приводом переміщення електродів.

Наукові та практичні результати роботи полягають у наступному.

1. Набула подальшого розвитку математична модель електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів ДСП, яка дозволяє врахувати вплив електромеханічних коливань гнучких кабелів на стійкість роботи регуляторів переміщення електродів ДСП і зміни довжин електричних дуг.

2. Розроблено методику оцінки впливу коливань гнучких кабелів при експлуатаційних коротких замиканнях на процес переміщення електродів ДСП.

3. Результати оцінок коливань гнучких кабелів, отримані за допомогою розробленої математичної моделі, підтверджені експериментально на ДСП-50 ПАТ НКМЗ. Розкид параметрів не перевищує 5%, що вказує на те, що розроблена модель адекватна.

4. Вперше синтезовано фази-коректори, які здійснюють компенсацію електромеханічних коливань гнучких кабелів і дозволяють зменшити чутливість системи управління приводом переміщення електродів до зовнішніх електромеханічних збурень, які пов'язані з процесом коливання гнучких кабелів, і тим самим підвищити стабільність процесу плавки за рахунок скорочення дисперсії довжин дуг на 94 - 98% і зменшити витрату технологічної енергії на 5,3% за рахунок скорочення тривалості плавки на 3,2%. Річна економічна ефективність від застосування розробленої вдосконаленої системи управління на ПАТ НКМЗ становить понад 1,5 млн. грн.

5. Спосіб компенсації електромеханічних збурень підтверджується патентом України № 76205. Пристрій для управління електричним режимом ДСП при упорі в струмонепровідну шихту підтверджується патентом України № 34774. Датчик швидкості зміни тиску, що використано при розробці пристрою захисту електродів ДСП, підтверджується патентом України № 34775. Методика оптимізації системи управління приводом переміщення електродів ДСП затверджена КПЦ «Автоматика» ПАТ НКМЗ і прийнята для промислового використання, що підтверджується відповідним актом. Розроблені моделі, алгоритми та методики, необхідні для побудови удосконаленої системи управління процесом плавки, використані в навчальному процесі, що підтверджується відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Панкратов А.И. Оценка изменения взаимных индуктивностей между гибкими кабелями трех фаз дуговой сталеплавильной печи ДСП-12 при эксплуатационных коротких замыканиях / А.И. Панкратов, А.В. Афанасьева // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». – 2009. – Вип. 9 (158). – С. 179–182.

2. Панкратов А.И. Колебания кабельных гирлянд дуговой сталеплавильной печи при эксплуатационных коротких замыканиях [Электронный ресурс] / А.И. Панкратов, А.В. Афанасьева // Научный вестник ДГМА. – 2010. – № 1 (6Е). – С. 177–182. – Режим доступа: http://www.dgma.donetsk.ua/publish/2010/2010_1/article/10APVISS.pdf.

3. Панкратов А.И. Оценка электромеханических возмущений в силовых цепях дуговой сталеплавильной печи ДСП-12 при эксплуатационных коротких замыканиях / А.И. Панкратов, А.В. Афанасьева // Вестник Кременчугского Национального технического университета. – Кременчуг, 2009. – Вып. 3, ч. 1. – С. 183–186.

4. Панкратов А.И. Оценка адаптивности регуляторов мощности дуговых сталеплавильных печей к внешним возмущениям / А.И. Панкратов, А.В. Афанасьева // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Серия «Электротехника, электроника и электропривод». – Харьков. 2010. – Вып. 28. – С. 462–463.

5. Панкратов А.И. Экспериментальные исследования влияния колебаний гибких токопроводов на стабильность работы регуляторов перемещения электродов дуговых сталеплавильных печей / А.И. Панкратов, А.В. Лютая, В.П. Верешко // Вестник ДГМА. – 2013. – № 1 (9Е). – С. 114–121.

6. Лютая А.В. Адаптивная система управления приводом перемещения электродов дуговой сталеплавильной печи / А.В. Лютая, О.И. Толочко // Metallurg. и горноруд. пром-сть, Дніпропетровськ. – 2013. – № 1. – С. 98–101.

7. Панкратов А.И. Проблема вариации реактанса в силовых цепях дуговых сталеплавильных печей / А.И. Панкратов, А.В. Афанасьева // Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus. Специальный выпуск : материалы VI Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании», 4–11 июня 2010 г., Варна, Болгария. – 2010. – Том I (Ч. 1). – С. 397–399.

8. Панкратов А.И. Автокорреляционный анализ флуктуаций электрических параметров дуговых сталеплавильных печей / А.И. Панкратов, А.В. Афанасьева // Международный научный журнал Acta Universitatis Pontica Euxinus. Специальный выпуск : материалы VII Международной конференции «Стратегия качества в промышленности и образовании», 3–10 июня 2011 г., Варна, Болгария. – 2011. – Том II. – С. 203–206.

9. Патент № 34775. Україна, МПК (2006) G01L 9/16. Датчик швидкості зміни тиску / А.І. Панкратов, А.В. Афанасьєва ; заявник і патентовласник Донбаська держ. машинобуд. академія. – U200802823 ; заявл. 04.03.2008 ; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.

10. Патент № 34774. Україна. МПК (2006) H05B 7/00. Пристрій для керування електричним режимом дугової електропечі / А.І. Панкратов, А.В. Афанасьєва ; заявник і патентовласник Донбаська держ. машинобуд. академія. – U2008028321 ; заявл. 04.03.2008 ; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.

11. Патент № 76205. Україна. МПК (2012.01) H05B 7/00. Спосіб автоматичного управління приводами переміщення електродів n-фазних дугових сталеплавильних печей / А.І. Панкратов, А.В. Люта ; заявник і патентовласник Донбаська держ. машинобуд. академія. – U201207394 ; заявл. 18.06.2012 ; опубл. 25.12.2012. – Бюл. № 24/2012.

12. Лютая А.В. Способ адаптации регуляторов перемещения электродов дуговой сталеплавильной печи к внешним возмущениям / А.В. Лютая // Современные информационные технологии, средства автоматизации и электропривод : материалы Всеукраинской научно-технической конференции, посвященной 60-летию ДГМА, 17–21 декабря 2012 г. / ред. кол. : А.Ф. Тарасов, Г.П. Клименко, П.И. Сагайда. – Краматорск : ДГМА, 2012. – С. 203–205.

Особистий внесок здобувача. У спільних із співавторами роботах здобувачем самостійно виконані: [1] – розробка математичної моделі електромеханічної системи ДСП; [2] – уточнення математичної моделі електромеханічної системи ДСП; [3] – математичне моделювання системи управління приводом переміщення електродів ДСП; [4] – оцінка адаптації різних регуляторів переміщення електродів ДСП на збурення; [5] – розробка методики експериментальних досліджень на ДСП; автокореляційний аналіз флуктуацій електричних параметрів короткої мережі ДСП при коливаннях гнучких кабелів; встановлення лінійних зв'язків між кутами взаємних відхилень гнучких кабелів струмопроводів і довжинами дуг; [6] – розробка адаптивної системи керування приводом переміщення електродів ДСП; [7] – оцінка впливу коливань гнучких кабелів на стабільність горіння електричних дуг; [8] – оцінка ергодичності електричних параметрів в період розплаву; [9] – розробка датчика швидкості зміни тиску; [10] – розробка пристрою для керування електричним режимом ДСП; [11] – розробка способу автоматичного керування приводами переміщення електродів n-фазних дугових сталеплавильних печей; [12] – розробка способу компенсації електромеханічних коливань гнучких кабелів.

АНОТАЦІЯ

Люта А.В. Удосконалення систем управління приводом переміщення електродів дугових сталеплавильних печей. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2013.

Дисертація присвячена вирішенню науково-технічної задачі підвищення ефективності роботи дугових сталеплавильних печей за рахунок удосконалення систем управління приводом переміщення електродів.

Розроблено математичну модель електромеханічної системи управління приводом переміщення електродів дугової сталеплавильної печі, яка відрізняється тим, що дозволяє врахувати вплив електромеханічних коливань гнучких кабелів на стабільність горіння електричних дуг.

Розроблена удосконалена система управління ППЕ ДСП на основі паралельної фазі-корекції сигналів управління, що дало можливість підвищити ефективність роботи печі. Розроблена, затверджена КПЦ «Автоматика» ПАТ НКМЗ і прийнята для промислового впровадження методика оптимізації системи управління приводом переміщення електродів ДСП.

Ключові слова: система управління, привод переміщення електродів, дугова сталеплавильна піч, електромеханічні збурення, методика оптимізації, спосіб компенсації.

АННОТАЦИЯ

Лютая А.В. Усовершенствование систем управления приводом перемещения электродов дуговых сталеплавильных печей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2013.

Диссертация посвящена решению научно-технической задачи повышения эффективности работы дуговых сталеплавильных печей за счет усовершенствования систем управления приводом перемещения электродов. Под эффективностью работы ДСП понимается повышение стабильности процесса плавки, сокращение продолжительности плавки и уменьшение энергопотребления. Усовершенствование систем управления приводом перемещения электродов ДСП осуществляется путем разработки способа компенсации электромеханических возмущающих воздействий, связанных с колебаниями гибких токопроводов.

Разработана математическая модель электромеханической системы управления приводом перемещения электродов дуговой сталеплавильной печи, которая отличается от известных тем, что позволяет учесть влияние электромеханических колебаний гибких кабелей на стабильность работы автоматических регуляторов перемещения электродов и изменения длин электрических дуг.

Разработана методика использования уточненной математической модели для установления взаимосвязи между колебаниями гибких кабелей и изменением длин дуг ДСП.

Разработана методика экспериментальных исследований системы управления приводом перемещения электродов на дуговой сталеплавильной печи ДСП-50 ПАТ НКМЗ в производственных условиях, которая позволяет установить показатели внешних электромеханических возмущений, которые связаны с колебаниями гибких токопроводов, системы управления приводом перемещения электродов дуговой сталеплавильной печи и подтвердить достоверность результатов разработанной математической модели.

Достоверность полученных результатов подтверждена сопоставлением итогов аналитических исследований и математического моделирования, и результатов, полученных при экспериментальных исследованиях системы управления приводом перемещения электродов ДСП-50 ПАО НКЗМ.

Также с целью подтверждения адекватности разработанной модели электромеханической системы управления приводом перемещения электродов дуговой сталеплавильной печи проведен статистический анализ данных с помощью М-критерия Барлетта, который показал совпадение дисперсий длин дуг ДСП для экспериментально полученных выборок данных и для выборок данных, полученных путем моделирования при имитации внешнего возмущения в фазе. При этом разброс параметров не превышает 5 %.

Проведена оценка погрешности информационно-измерительной системы дуговой сталеплавильной печи по каналам тока и напряжения фаз; проведена оценка среднеквадратичной и методической погрешностей информационно-измерительной системы. Данные погрешности не превышают 5 %.

Впервые разработан алгоритм и способ компенсации электромеханических колебаний гибких кабелей, основанный на параллельной фаззи-коррекции сигналов управления, что позволяет повысить эффективность работы печи.

Разработано устройство защиты электродов при упоре в токонепроводящую шихту, отличающееся от известных тем, что содержит дифференциатор давления, на выходе которого формируется сигнал скорости изменения давления и вибродатчик, на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный ускорению электрода, позволяющие повысить быстродействие и чувствительность, а следовательно, и надёжность защиты электродов.

Исследовано влияние положения датчика напряжения на работу импедансного регулятора мощности путем позиционирования датчика напряжения в зоне электрододержателей, что позволяет уменьшить относительную погрешность позиционирования электрода при работе регуляторов ДСП-50 на 91,1%.

Разработана, утверждена КПЦ «Автоматика» ПАТ НКМЗ и принята для промышленного использования методика оптимизации системы управления приводом перемещения электродов ДСП, позволяющая уменьшить чувствительность системы управления приводом перемещения электродов к внешним электромеханическим возмущениям, связанным с колебаниями гибких кабелей, и тем самым повысить стабильность процесса плавки за счет сокращения дисперсии длин дуг на 94-98 % и уменьшить расход технологической энергии на 5,3 % за счет сокращения продолжительности плавки на 3,2 %, что подтверждается соответствующим актом. Годовая экономическая эффективность от реализации внедрения данной методики с реальной загрузкой оборудования составляет порядка 1,6 млн. грн.

Разработанные модели, алгоритмы и методики, которые необходимы для построения усовершенствованной системы управления приводом перемещения электродов, использованы при выполнении госбюджетных тем ДГМА Дк-06-2008,

Дк-01-2011, а также применяются в курсовом и дипломном проектировании, в лекционном курсе по дисциплинам «Технические средства автоматизации», «Автоматизация технологических процессов и производства», в магистерских работах студентами специальности 7.092501 «Автоматизированное управление технологическими процессами» ДГМА, что подтверждается соответствующими актами. Способ компенсации электромеханических возмущений подтверждается патентом Украины № 76205. Устройство для управления электрическим режимом ДСП при упоре в токонепроводящую шихту подтверждается патентом Украины № 34774. Датчик скорости изменения давления, используемый при разработке устройства защиты электродов ДСП, подтверждается патентом Украины № 34775. Методика оптимизации системы управления приводом перемещения электродов ДСП утверждена КПЦ «Автоматика» ПАО НКМЗ и принята для промышленного использования, что подтверждается соответствующим актом.

Ключевые слова: система управления, привод перемещения электродов, дуговая сталеплавильная печь, электромеханические возмущения, методика оптимизации, способ компенсации.

SUMMARY

Lutaja A.V. Improvement of management systems driven movement EAF electrodes. – Manuscript.

Thesis for Ph. D. degree in speciality 05.09.03 – electrotechnical complexes and systems. – Donetsk National technical university, Donetsk, 2013.

The thesis is dedicated to solving of science-technical task of increasing of efficiency of electric arc furnaces by improving management systems by the movement driven of electrodes.

A mathematical model of electromechanical management system by the movement driven of the electrodes of the steelmaking arc furnace had been developed. It differs in that it allows to take on discount the influence of electromechanic fluctuations of flexible cables on the stability of burning electric arcs.

An improved management system by the movement driven of the electrodes on the steelmaking arc furnace had been developed based on the parallel fuzzy correction control signals. It allows the improving the efficiency of the furnace. The optimization methods of the management system by the movement driven of the electrodes on the steelmaking arc furnace had been developed, approved on the design and production centre «NKMZ-Automatics» and had been taken to industrial implementation.

Keywords: the management system, the movement driven of the electrodes, the steelmaking arc furnace, the electromechanic disturbance, the optimization methods, the method of compensation.

Наукове видання

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
ПРИВОДОМ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ ДУГОВИХ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ПЕЧЕЙ**

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Формат 60 × 84/16. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. № 62.

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Шкадінова, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК №1633 від 24.12.2003