

СИСТЕМО – И СХЕМОТЕХНИКА СИНТЕЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СТАЛЕПЛАВЛЕНИЯ

Труфанов И.Д., Лютый А.П., Чумаков К.И.

Запорожский национальный технический университет

Объектом исследования является электротехнологический комплекс плавления высококачественных сталей и прецизионных сплавов тяжелых черных и цветных металлов. Современные электросталеплавильные дуговые агрегаты являются основными средствами электротехнологии плавления стали для получения проката, необходимого военному кораблестроению, авиакосмической отрасли и атомному машиностроению. Ведущими в этой области сталеплавильными фирмами являются Dragon Steel, IMIDPO, SMS Demag, IISI, Nucor, Luxemburg's Tenaris SA и др. ведутся работы по повышению энергоэкономической эффективности как технологии электроплавки, так и электротехнологических комплексов и агрегатов. В числе прочих энергосберегающих процессов (использование жидкого чугуна, шахтные подогреватели лома и др.) совершенствования энергооборудования заслуживает особого внимания опыт фирмы ФАИ ФУКС при постройке дуговых печей нового поколения ULTIMATE, обладающих сверхвысокой электрической мощностью ($> 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А/т}$), вводимой при высоком вторичном напряжении (до 1600 В) использованием ГКГ и инжекторов для вдувания порошков и углеродсодержащих материалов; увеличенной высотой рабочего пространства (на печи 250т до 4,5м от зеркала металла до верха стен); завалкой шихты одной бадьей и нагревом шихты отходящими газами; разъемной конструкцией корпуса, наличием секций стальных водоохлаждаемых панелей в средней и верхних частях медных панелей в нижней части кожуха с повышенными тепловыми нагрузками; наличие системы с оптическими датчиками для контроля завалочной бадьи с шихтой в положение загрузки над печью; скоростной заменой электрода мостовым краном с двумя вспомогательными крюками; наличием робота для очистки порога рабочего окна; наличием системы инфракрасного контроля отсечки шлака при выпуске металла из печи; наличием устройства бесконтактного измерения температуры ванны металла; повышенной массой выпуска металла до 250т.

Авторами настоящей работы для печи энерговооруженностью 650 кВ·А/т разработана система компенсации «короткой сети», повышающей $\cos\phi$ от 0,73 до 0,97. Косинусные конденсаторы средней частоты (до 0,25 кГц), среднего напряжения (750В), мощностью в одном корпусе до 1080 кВ·Ар, количество ступеней регулирования до 18, емкостью 105 мкФ, по стандарту MEK60871-1-2/97, пропитка М-ДВТ- смесь моно- и дибензилтолуола, диэлектрик – all-film, давление охлаждающей воды до 6 атм, поставка заводов ZEZ Silko (типа CSADP) и др. заводов. Для монтажа используются элементы «короткой сети»: кабели типа Star и Uniflex, конденсаторы из алюминия и меди для трансформаторов до 200 МВ·А и др. элементы.

В области энергосбережения в Украине такие работы проводятся на основе нормативно-правовых актов: „Про енергозбереження від 1.07.94р. № 74/94-ВР“ (зі змінами, внесеними законом України від 30.06.99 № 783-ХІУ); „Про національну програму інформатизації“ від 04.02.98 № 74/98-ВР; „Про концепцію Національної програми інформатизації“ від 04.02.98 №76/98; „Про ратифікацію Договору до Енергетичної Хартії та протоколу до Енергетичної Хартії з питань енергетичної ефективності і суміжних екологічних аспектів“ від 06.02.98 №89/98-ВР; „Про заходи щодо скорочення енергоспоживання бюджетними установами, організаціями та казенними підприємствами“ від 16.06.99 №662 и др. В Запорожском регионе работы проводятся в соответствии с „Комплексною програмою енергозбереження Запорізької області“ від 19.02.97 №82, вышеуказанными документами проектами Tacis, касающихся энергетики, в Украине: 91/Е/006, 92/EUK012, 92/EUK, 92/EUK011, в т.ч. 94/EUK004с (Изучение технико-экономического обоснования для контроля электросетей и разработка обучающих программ для персонала по технико-экономическим контрольным системам), 94/EUK006 (План проведения реформ в энергетическом секторе), 95/EUK (Выполнение программы энергосберегающих мероприятий).

Основными направлениями в электросталеплавлении по разработке энергосберегающих моделей и законов динамического функционирования технологической автоматики на локальном уровне и уровне сталеплавильного цеха нами [1-3] определены направления по повышению энергоэффективности, в т.ч.: увеличение подводимой мощности, эркерный выпуск, применение АКР, стабилизация процесса горения дуги, снижение пульсаций напряжения трансформатора, введение в короткую сеть сглаживающего реактора, косинусных конденсаторов и пр. Развитие методов оптимизации функциональной структуры электропечного комплекса на современном этапе развития науки и техники управления на основе компьютерных промышленных систем базируется на основе теории случайных блужданий, шаги которых имеют нулевое среднее значение (директивное математическое ожидание) и конечную дисперсию [4]. Структура моделей оптимизации нами использована в соответствии с разработками [5]. В рассматриваемом случае $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots$ - последовательности независимых одинаково распределенных величин (мощности трансформатора, садки, синтетического шлака, карбюризаторов, окислителей, рафинирующих, раскислителей и т.д. [5]) со значениями математического ожидания $[M\xi_i]=0$ и дисперсии $[D\xi_i]=1$ [5], а величины $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_n, \dots$ - случайное блуждание с шагами ξ_i . Марковская последовательность функционалов от случайного блуждания ξ_0, ξ_1, \dots определяется рекуррентной системой равенств $\eta_k = g(\eta_{k-1}, \xi_{k-1}, \xi_k)$ [4], где величины η_k определены [5], если задана функция распределения энергопотоков $g(x, y, z)$ по осям печного пространства x, y, z (измеримая по совокупности переменных) и значение η_0 [5]. В данном слу-

чае каждому $\{n\}$ – измеряемых координат будет отвечать измеримая функция $g_n(x,y,z)$ и случайные значения величин η_{nk} будут определяться равенствами

$$\eta_{nk} = g_n(\eta_{nk-1}, \xi_{k-1}, \xi_k); \quad \eta_{n0} = \eta_0. \quad (1)$$

Если использовать модели линейного распределения [5], то соотношение (1) при использовании обозначений

$$\begin{aligned} a_n(x, y) &= n[M(g_n(x, y\sqrt{n}, \xi_1)) - x]; \quad b_n(x, y) = \sqrt{n}[M(g_n(x, y\sqrt{n}, \xi_1)\xi_1)]; \\ [C_n(x, y)]^2 &= nM\{[g_n(x, y\sqrt{n}, \xi_1) - x - (1/n)a_n(x, y) - b_n(x, y) - b_n(x, y)(\xi_1/\sqrt{n})]^2\}; \\ \omega_n(x, y, z) &= (1/C_n(x, y))[g(x, y\sqrt{n}, z) - x - (1/n)a_n(x, y) - b_n(x, y)(z/\sqrt{n})] \end{aligned}$$

получим закон распределения случайных блужданий параметров закона управления процессом энергопреобразования в следующем виде:

$$\eta_{nk+1} = \eta_{nk} + a_n(\eta_{nk}, \frac{\xi_k}{\sqrt{n}}) \frac{1}{n} + b_n(\eta_{nk}, \frac{\xi_k}{\sqrt{n}}) \frac{\xi_{k+1}}{\sqrt{n}} + C_n(\eta_{nk}, \frac{\xi_k}{\sqrt{n}}) \omega_n(\eta_{nk}, \frac{\xi_k}{\sqrt{n}}, \xi_{k+1}). \quad (2)$$

При условии $k/n = t_{nk}, \eta(t) = \eta_{nk}, \omega_n(t) = \xi_k/n = \xi_{nk}, t \in [t_{nk}, t_{nk+1}]; \omega_n^*(t) = \sum_{t_{nj+1} \leq t} \omega_n(\eta_{nj}, \xi_{nj}, \xi_{j+1})$

из (2) получаем следующее разностное уравнение, как закон управления процессом энергопреобразования при регулировании координат от промышленного компьютера Advantech Computer, следующего вида:

$$\begin{aligned} \eta_n(t_{nk+1}) - \eta_n(t_{nk}) &= a_n(\eta_n(t_{nk}), \omega_n(t_{nk}))(t_{nk+1} - t_{nk}) + \\ &+ b_n(\eta_n(t_{nk}), \omega_n(t_{nk}))[\omega_n(t_{nk+1}) - \omega_n(t_{nk})] + C_n(\eta_n(t_{nk}), \omega_n(t_{nk}))[\omega_n^*(t_{nk+1}) - \omega_n^*(t_{nk})]. \end{aligned}$$

При аналогии между (3) и стохастическим дифференциальным уравнением [4,5]:

$$d\eta(t) = a(\eta(t), \omega(t))dt + b(\eta(t), \omega(t))d\omega(t) + C(\eta(t), \omega(t))d\omega^*(t)$$

для величин $\omega(t), \omega^*(t), \omega_n(\eta_{nk}, \xi_{nk}, \xi_{k+1})$ получим оценки динамического качества функционирования системы регулирования координат электропечного комплекса: $[M(\omega_n(\eta_{nk}, \xi_{nk}, \xi_{k+1})/\eta_{nk}, \xi_{nk})] = 0;$

$$[M([\omega_n(\eta_{nk}, \xi_{nk}, \xi_{k+1})]^2/\eta_{nk}, \xi_{nk})] = 1/n; M[(\xi_{k+1}, \omega_n(\eta_{nk}, \xi_{nk}, \xi_{k+1})/\eta_{nk}, \xi_{nk})] = 0.$$

В соответствии с [5] величины ξ_{nk} при $k/n \rightarrow 1$ имеют асимптотически нормальное распределение процессов $\omega_n(t)$ сходятся к конечномерным распределениям процесса энергопреобразования в печном плавильном пространстве. Полученные аналитические законы динамического функционирования электротехнологического комплекса при энергоэффективном регулировании координат энергопреобразования энергетических потоков в технологическую теплоту плавления металла должны быть скорректированы с руководящими и директивными указаниями и требованиями на ведение технологического процесса сталеплавления и нормативной документацией по эксплуатации электротехнологического оборудования (сетевое и печное трансформаторов, «короткой сети» печного трансформатора, УКРМ на стороне 35 кВ сетевого трансформатора, водоохлаждаемых трубошин, электрододержателей, экономайзера и др.), в т.ч. ГКД 34.11.202-97 (в части метрологических характеристик каналов измерения параметров), ГДК 34.20.171-96 (в части ограничения токов короткого замыкания в сетях 110 кВ), ГДК 34.27.506-94 (в части эксплуатации электрофильтров), ГДК 34.35.403-96, ГДК 34.35.405-96 (в части эксплуатации противоаварийной автоматики типа ШП2702, ШП2703), ГДК 34.35.603-95 (в части технического обслуживания устройств релейной защиты и электроавтоматики электрических сетей 0,4-35 кВ).

Следует отметить, что указанные модели и законы управления иерархической системой электротехнологии сталеплавления на основе промышленного компьютера прошли лабораторные (в условиях специальной электротехнической лаборатории) и производственные исследования (в условиях действующего электросталеплавильного производства), были подтверждены их научная состоятельность и практическая реализуемость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системо- и схематехника многокритериального синтеза энергоэффективных электротехнологических комплексов электросталеплавления /И.Д. Труфанов, А.П. Лютый, И.А. Андрияс, В.Г. Савельев, К.И. Чумаков // Восточно – Европейский журнал передовых технологий, №6/1(24), 2006. – Харьков, 2006. – С. 54-68.
2. Лютый А.П., Труфанов И.Д., Чумаков К.И., Савельев В.Г., Научные предпосылки синтеза энергосберегающего оптимального управления мощностью дуговых электротехнологических комплексов // Сб. научн. Труд. Днепродзержинского гос. техн. университета (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – Днепродзержинск, 2007. – С.549-552.
3. Труфанов И.Д., Лютый А.П., Чумаков К.И. Математическое моделирование и опытно-экспериментальное исследование энергоэффективности электротехнологического комплекса мощной дуговой сталеплавильной печи// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, №4/1(28), 2007. – С.64-69.
4. Скороход А.В., Слободнюк Н.П. Предельные теоремы для случайных блужданий. – Киев: Наукова думка, 1970. – 303с.
5. Труфанов И.Д. Системы оптимизации режимов работы мощных дуговых сталеплавильных печей на основе интегрального критерия энергосбережения/ Дисс. ... докт. техн. наук. – Запорожье, 2001. – 530с.