

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/UJEG4973>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А.И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Кошеков К.Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е.В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А.Р.,	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

***В. И. Фандюшин¹, С. И. Деревягин², Н. Н. Пудич³,
Ю. В. Улихина⁴**

^{1,2,3,4}Торайғыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

УСТРОЙСТВО КОРРЕКЦИИ ДЛЯ РЕГУЛЯТОРА МОЩНОСТИ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ.

В данной статье приводятся данные о том, что мартеновский способ плавки стали больше не используется, а выплавка стали в кислородных конвертерах имеет существенные недостатки по сравнению с дуговыми - плавильными агрегатами. Поэтому основная масса стали сейчас выплавляется в дуговых сталеплавильных печах и большинство научных исследований направлено на совершенствование электроплавки стали. Показано, что коэффициент полезного действия электропечи зависит от неравномерности мощностей фаз печи, а эта неравномерность достигает 30% и чтобы снизить потери энергии предлагается схема электронного устройства коррекции несимметричных режимов для типовой электромеханической системы управления мощностью дуговой сталеплавильной печи. Устройство изготовлено на основе широко распространённых интегральных микросхем серии K553 и предназначено для каждой фазы печи. Устройство формирует корректирующий сигнал для заданной фазы регулятора мощности и позволяет снизить неравномерность распределения мощностей дуг по фазам печи. Принцип работы устройства основан на методе компенсации различных сопротивлений фаз вторичного токоподвода дуговой сталеплавильной печи путём ввода в регулятор мощности сигнала коррекции. Показано, что такая модернизация дуговой электропечи проста и эффективна.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, дуговые сталеплавильные печи, интегральные микросхемы, несимметричные режимы печи, энергоэффективность.

Введение

По инициативе правительства республики Казахстан в стране принята и утверждена программа «Цифровой Казахстан». Аналогичные программы действуют практически во всех передовых странах, причём каждая страна выделяет одно или несколько направлений развития, согласно такой программе. В Казахстане выбрано пять направлений и одним из них является модернизация энергетики и промышленности с помощью новейших технологий.

Павлодарская область насыщена энергетическими и промышленными предприятиями, среди которых много металлургических предприятий с не малым парком дуговых сталеплавильных печей (ДСП). Мировой опыт показывает, что происходит ежегодное увеличение выплавки стали и выплавки именно в дуговых печах, так как мартеновский способ выплавки и плавка стали в кислородных конвертерах стали не конкурентно способны из-за отрицательного влияния на экологию и из-за большей себестоимости в производстве стали [1]. Мартеновские печи сейчас это уже история, такие печи больше не строят, например, в России последнюю плавку в такой печи провели в марте 2018 года. Поэтому тенденция увеличения количества дуговых сталеплавильных печей будет только нарастать, так как другого более эффективного способа плавки стали пока не найдено [2]. Именно поэтому для экономии ресурсов огромное значение имеет усовершенствование и модернизация дуговых электропечей, которые, наравне с электролизным производством, являются главными и самыми мощными потребителями электроэнергии в Павлодарской области.

Материалы и методы

Одним из методов повышения энергоэффективности ДСП является снижение несимметричных режимов работы таких печей. Несимметрия мощности электрических дуг может достигать 30%, что повышает расход электроэнергии из-за неравномерного выделения мощности дуговых разрядов.

Так как система питающих напряжений трёхфазная, то и печь, работающая на переменном напряжении, содержит три электрода. Самый оптимальный режим печи бывает тогда, когда мощность всех трёх электрических дуг одинакова. Но на практике это не достижимо, так как из-за явлений взаимоиндукции сопротивление фазных токоподводов к электродам не одинаково по фазам и постоянно меняется. Невозможно выполнить идентичными токоподводы от печного трансформатора к электродам печи и кроме того, электроды вместе с токопроводами большую часть плавки находятся в движении. Спокойный режим, когда электроды почти не двигаются, бывает только в металлургические периоды плавки, это

такие режимы, когда ванна жидкого металла уже сформирована. Но такой спокойный режим длится менее половины времени всей плавки, в остальное время, когда плавится металлический лом, электроды находятся в постоянном движении и токи электрических дуг меняются от максимального и до нуля.

Ещё одним отрицательным фактором несимметрии является повышенный износ футеровки печи, что приводит к незапланированным ремонтам и простою печей в это время. Это явление связано с понятием «дикая фаза», таким термином называют ту фазу, где ток максимальный. Естественно, что футеровка печи напротив электрической дуги этой фазы выгорает наиболее интенсивно.

Важно упомянуть ещё один вредный фактор несимметрии, который заключается в отрицательном воздействии несимметричных режимов на все потребители энергосистемы.

Ещё в прошлом веке был предложен способ компенсации несимметричных режимов ДСП [3]. Этот метод основан на компенсации различий в сопротивлениях фаз вторичного токоподвода печи, путем выработки корректирующего сигнала для автоматического дифференциального регулятора мощности ДСП. Суть метода в том, что в систему управления вносится корректирующий сигнал, учитывающий изменение тока фаз. Известно, что сигнал задания в таком регуляторе формируется на основе уравнения [4]:

$$\Delta U = a(U_d - C) - b(I_d - I_s), \quad (1)$$

где a и b – весовые коэффициенты;

c – постоянная величина, определяемая номинальным вторичным напряжением печного трансформатора;

U_d – напряжение на соответствующем электроде;

I_d – дуговой ток соответствующего электрода;

I_s – ток дуги, заданный условиями плавки.

Данное уравнение можно записать в упрощённом виде:

$$\Delta U = aU - bI. \quad (2)$$

И для этого упрощённого уравнения, введя поправочные коэффициенты, можно получить окончательное уравнение, описывающее сигнал задания для регулятора мощности ДСП с коррекцией несимметрии вторичного токоподвода:

$$\Delta U = a(U_0 + \beta I_0 Z_{KC}) - bI, \quad (3)$$

где a – весовой коэффициент, зависящий от максимального тока электрода и колебаний напряжения сети, определяется опытным путём и обычно находится в диапазоне 0,5 - 0,85;

Z_{KC} – величина, равная полному сопротивлению части короткой сети, от дуги до места, где подключен датчик напряжения.

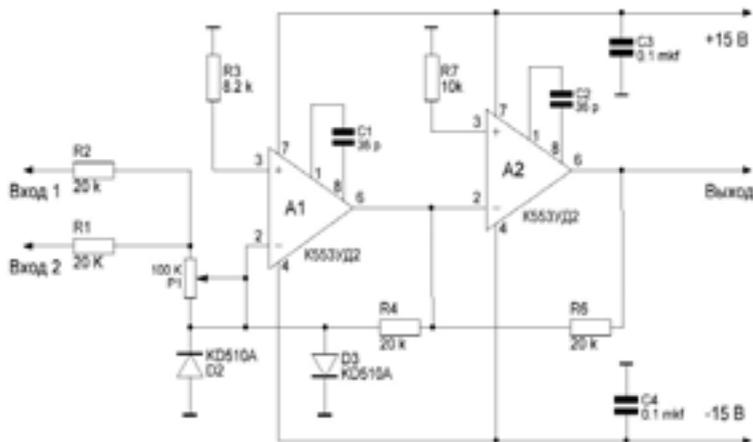
Весовой коэффициент a , определяется для каждой печи отдельно и зависит от конструкции печи и от электрических параметров печи и печного трансформатора. Он определяется за две или три плавки, путём измерения мощностей дуг с помощью самопишущих приборов и дальнейшего определения степени несимметрии. Коэффициент, соответствующий минимальной несимметрии считается самым оптимальным.

Результаты и обсуждение

На реальных печных установках датчик напряжения подключен к так называемым неподвижным башмакам короткой сети [5]. Короткая сеть это вторичный токоподвод печи, включающий в себя вторичную обмотку трансформатора, участок шинного пакета, который ещё называют трубошинами и участок гибких кабелей. При таком способе подключения датчика напряжения компенсируется разность индуктивных сопротивлений только участков трубошин и вторичной обмотки трансформатора, в то время как наиболее важный участок гибких кабелей не участвует в создании корректирующего сигнала [6]. Это объясняется надёжностью работы печи, но гибкие кабели с водяным охлаждением находятся в постоянном движении и аварийной ситуации не возникает, поэтому можно предположить, что и провода от датчика напряжения тоже не будут повреждены.

Было проведено моделирование работы устройства коррекции при разных способах подключения датчика напряжения. Расчёты показали, что при подключённом датчике напряжения к неподвижным башмакам, коэффициент износа футеровки снижался на 27,7%, а несимметричные режимы уменьшались на 7%. А если датчик напряжения был подключен к подвижным башмакам, то результаты моделирования были следующие: коэффициент износа футеровки снижался на 32,4%, а несимметричные режимы уменьшались на 10,2%. Отсюда следует вывод, что даже простое изменение места подключения датчика напряжения позволяет повысить эффективность работы дуговых сталеплавильных печей. Естественно, только надо решить вопрос надёжности, т.е. использовать более прочный и гибкий многожильный кабель для подключения датчиков.

На рисунке 1 представлена схема устройства коррекции несимметричных режимов для одной фазы регулятора мощности дуговой сталеплавильной печи. Такая схема разработана для электромеханического регулятора мощности и не подходит для гидравлических регуляторов. Хотя, сама идея компенсации сопротивлений фаз универсальна и может быть применена на любых дуговых сталеплавильных печах.



Устройство разработано на основе интегральных микросхем серии К553 [7].

Рисунок 1 – Схема электронного корректирующего устройства

На вход 1 подаётся сигнал, пропорциональный напряжению сети, на вход 2 подаётся сигнал, пропорциональный току дуги. Потенциометр P1 предназначен для подбора коэффициента. С помощью диодов D2 и D3 гасятся всплески дифференциальных сигналов, которые возникают от переходных процессов между входами микросхем. Устройству необходим стабилизированный источник питания, выдающий плюс 15 вольт и минус 15 вольт. Конденсаторы C3 и C4 это обыкновенные фильтры, то есть убирают высокочастотные помехи по цепям питания. Элементы R3, R7 и C1, C2 нужны для нормальной работы интегральных микросхем.

Выводы

Введение в систему управления корректирующего устройства позволяет снизить степень несимметрии электрического режима работы дуговой сталеплавильной печи. Что снижает расход электроэнергии, уменьшает время

простая печи из-за непредвиденного ремонта футеровки и благоприятно влияет на все потребители энергосистемы.

Новейшие системы автоматического регулирования (САР) мощности дуговых сталеплавильных печей работают с цифровыми управляющими сигналами и используют в своём составе всевозможные микроконтроллеры. В таком случае можно обойтись без корректирующего устройства, так как аналогичную задачу можно решить перепрограммированием контроллера, хотя сам способ компенсации изменений сопротивлений фаз печи остаётся неизменным. Применение микроконтроллеров позволяет значительно наращивать возможности и функциональность САР. Например, можно реализовать САР с элементами адаптации к флуктуациям тока дуги или реализовать любой принцип регулирования мощности, например, дифференциальный или токовый, а можно и объединить оба принципа регулирования, если это необходимо.

Отказ от использования аналоговых и дискретных компонентов в САР ДСП и применение микропроцессорной техники вместо них позволяет уменьшить стоимость таких систем при минимальном техническом обслуживании и приемлемой скорости и точности регулирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Гудим, Ю. А., Зинуров, И. Ю., Киселев, А. Д.** Производство стали в дуговых печах. Конструкции, технология, материалы [Текст]. – Новосибирск: НГТУ, 2010. – 547 с.

2 **Воскобойников, В. Г., Кудрин, В. А., Якушев, А. М.** Общая металлургия [Текст]. – М. : Академкнига 2005. – 768 с.

3 **Рубцов, В. П., Фандюшин, В. И.** Устройство автоматического регулирования мощности дуговой электропечи. Авторское свидетельство СССР № 1713126 БИ № 6 [Текст]. – 1992. – 2 с.

4 **Ананьев, М. Н., Матисон, А. Г., Седойкин, Н. Я.** Автоматический регулятор АРДМТ-2 для дуговых сталеплавильных печей. Электротехническая промышленность. Серия Электротермия. ВНИИЭТО [Текст]. – М. : Энергоатомиздат, 1982. с. 10–11.

5 **Меркер, Э. Э., Кочетов, А. И., Харламов, Д. А.** Энергосбережение при выплавке стали в дуговых печах. Учебное пособие [Текст]. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 296 с.

6 **Лапшин, И. В.** Автоматизация дуговых печей. [Текст]. – М. : Издательство МГУ, 2004. – 165 с.

7 **Изьюрова, Г. И., Королёв, Г. И., Терехов, В. А.** Расчёт электронных схем. Примеры и задачи: Учебное пособие для вузов по специальности электронная техника [Текст]. – М. : Высшая школа, 1987. – 355 с.

8 **Рощин, В. Е., Рощин, А. В.** Электрометаллургия и металлургия стали [Текст]. – Челябинск : ЮурГУ, 2013. – 572 с.

9 **Рябов, А. В., Чуманов, И. В.** Современные способы выплавки стали в дуговых печах. [Текст]. – М. : Теплотехник, 2007 – 192 с.

10 **Лапшин, И. В.** Автоматизация производства электростали. Автоматизация дуговых сталеплавильных процессов [Текст]. – М. : Издательство МИСиС, 2001. – 65 с.

REFERENCES

1 **Gudim, Yu. A., Zinurov, I. Yu., Kiselev, A. D.** Production of steel in arc furnaces. Designs, technology, materials [Proizvodstvo stali v dugovykh pechakh. Konstruktsii, tekhnologiya, materialy] [Text]. – Novosibirsk : NSTU, 2010. – 547 p.

2 **Voskoboynikov, V. G., Kudrin, V. A., Yakushev, A. M.** General metallurgy [Obshchaya metallurgiya] [Text]. – Moscow : Akademkniga 2005. – 768 p.

3 **Rubtsov, V. P., Fandyushin, V. I.** Device for automatic power control of an electric arc furnace. Author's certificate of the USSR No. 1713126 BI No. 6 [Ustroystvo avtomaticheskogo regulirovaniya moshchnosti dugovoy elektropechi. Avtorskoye svidetel'stvo SSSR № 1713126 BI № 6] [Text]. – 1992. – 2 p.

4 **Ananiev, M. N., Matison, A. G., Sedoykin, N. Ya.** Automatic controller ARDMT-2 for arc steel-smelting furnaces. Electrical industry. Series Electrothermy. VNIIEТО [Avtomaticheskii regulyator ARDMT-2 dlya dugovykh staleplavil'nykh pechey. Elektrotekhnicheskaya promyshlennost'. Seriya Elektrotermiya. VNIIEТО] [Text]. – Moscow : Energoatomizdat, 1982. P. 10–11.

5 **Merker, E. E., Kochetov, A. I., Kharlamov, D. A.** Energy saving during steel smelting in arc furnaces. Tutorial [Energoberezheniye pri vyplavke stali v dugovykh pechakh. Uchebnoye posobiye] [Text]. – Stary Oskol: TNT, 2009. – 296 p.

6 **Lapshin, I. V.** Automation of arc furnaces [Avtomatizatsiya dugovykh pechey] [Text]. – Moscow : Publishing house of Moscow State University, 2004. – 165 p.

7 **Izyurova, G. I., Korolev, G. I., Terekhov, V. A.** Calculation of electronic circuits. Examples and tasks: Textbook for universities in the specialty of electronic engineering [Raschot elektronnykh skhem. Primery i zadachi: Uchebnoye posobiye dlya vuzov po spetsial'nosti elektronnaya tekhnika] [Text]. – Moscow : Higher school, 1987. – 355 p.

8 **Roshchin, V. E., Roshchin, A. V.** Electrometallurgy and steel metallurgy [Elektrometallurgiya i metallurgiya stali] [Text]. – Chelyabinsk : SUSU, 2013. – 572 p.

9 **Ryabov, A. V., Chumanov, I. V.** Modern methods of steel smelting in arc furnaces [Sovremennyye sposoby vyplavki stali v dugovykh pechakh] [Text]. – Moscow : Teplotekhnika, 2007 – 192 p.

10 **Lapshin, I. V.** Automation of electric steel production. Automation of arc steelmaking processes [Avtomatizatsiya proizvodstva elektrostali. Avtomatizatsiya dugovykh staleplavil'nykh protsessov] [Text]. – Moscow : MISiS Publishing House, 2001. – 65 p.

Материал поступил в редакцию 15.12.22.

*В. И. Фандюшин¹, С. И. Деревягин², Н. Н. Пудич³, Ю. В. Улихина⁴

^{1,2,3,4}Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 15.12.22 түсті.

ДОҒАЛЫ БОЛАТ БАЛҚЫТУ ПЕШІНІҢ ҚУАТ РЕТТЕГІШНЕ АРНАЛҒАН ТҮЗЕТУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ.

Бұл мақалада болатты балқытудың ашық әдісі енді қолданылмайды, ал болатты оттегі түрлендіргіштерінде балқыту доғалық балқыту қондырғыларымен салыстырғанда айтарлықтай кемшіліктерге ие екендігі туралы мәліметтер келтірілген. Сондықтан болаттың негізгі бөлігі қазір доғалы болат балқытатын пештерде ериді және көптеген ғылыми зерттеулер Болаттың электрлік балқымасын жақсартуға бағытталған. Электр пешінің тиімділігі пештің фазалық қуатының біркелкі еместігіне байланысты және бұл біркелкі емес 30 % – ға жетеді және энергия шығынын азайту үшін доғалы болат балқыту пешінің қуатын басқарудың типтік электромеханикалық жүйесі үшін асимметриялық режимдерді электронды түзету құрылғысының схемасы ұсынылады. Құрылғы кең таралған k553 сериялы интегралды схемаларға негізделген және пештің әр фазасына арналған. Құрылғы Қуат реттегішінің берілген фазасы үшін түзету сигналын қалыптастырады және доғалардың қуатын пештің фазалары бойынша біркелкі емес бөлуді азайтуға мүмкіндік береді. Құрылғының жұмыс принципі қуат реттегішіне түзету сигналын енгізу арқылы доғалы болат балқыту пешінің екінші ток өткізгіштігінің әртүрлі фазалық кедергісін өтеу әдісіне негізделген. Мұндай доғалық электр пешін жаңарту қарапайым және тиімді екендігі көрсетілген.

Кілтті сөздер: автоматтандырылған басқару жүйелері, догалы болат балқыту пештері, Интегралды микросхемалар, пештің асимметриялық режимдері, энергия тиімділігі.

*V. I. Fandyushin¹, S. I. Derevyagin², N. N. Pudich³, Yu. V. Ulikhina⁴

^{1,2,3,4}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

Material received on 15.12.22

CORRECTION DEVICE FOR POWER REGULATOR OF ARC STEEL-SMELTING FURNACE

This article provides data that the open-hearth method of steel smelting is no longer used, and steel smelting in oxygen converters has significant drawbacks compared to arc - melting units. Therefore, the bulk of steel is now smelted in arc steel-smelting furnaces, and most scientific research is aimed at improving the electric smelting of steel. It is shown that the efficiency of the electric furnace depends on the uneven power of the phases of the furnace, and this unevenness reaches 30 %, and in order to reduce energy losses, an electronic device for correcting asymmetric modes for a typical electromechanical system for controlling the power of an arc steel-smelting furnace is proposed. The device is made on the basis of widely used K553 series integrated circuits and is designed for each phase of the furnace. The device generates a corrective signal for a given phase of the power controller and makes it possible to reduce the uneven distribution of arc powers over the phases of the furnace. The principle of operation of the device is based on the method of compensating for various resistances of the phases of the secondary current supply of an arc steel-smelting furnace by introducing a correction signal into the power controller. It is shown that such modernization of an electric arc furnace is simple and effective.

Keywords: automated control systems, steel-smelting arc furnaces, integrated circuits, asymmetric furnace modes, energy efficiency.

Теруге 15.12.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3,44 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.59. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4019

Сдано в набор 15.12.2022 г. Подписано в печать 30.12.2022 г.

Электронное издание

3,44 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.59. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4019

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz