

УДК 621.311.16

С.В. БАШЛІЙ ⁽¹⁾, доцент, кандидат технічних наук
О.П. ЛЮТИЙ ⁽²⁾, заступник генерального директора, кандидат технічних наук
Ю.М. КАЮКОВ ⁽¹⁾, доцент, кандидат технічних наук
А.А. КУЗЬМЕНКО ⁽¹⁾, доцент
Р.Р. МАТКАЗИНА ⁽¹⁾, доцент
С.Є. ЧИЖОВ ⁽¹⁾, старший викладач

ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ Й УДОСКОНАЛЕННЯ ОПАЛЮВАННЯ КАМЕРНИХ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ПЕЧЕЙ З ПІДПODOVИМИ ТОПКАМИ

⁽¹⁾ Запорізька державна інженерна академія

⁽²⁾ ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь», м. Запоріжжя

Виконано аналіз економічних показників теплової роботи камерних рециркуляційних печей з підподовими топками термічного цеху ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» з позиції модернізації системи опалювання та зокрема її головного елементу – пальникового пристрою. Шляхом експериментального випробування показана доцільність впровадження розробленого пальника за виробничих умов підприємства. Наведено комплексний економічний ефект за рахунок оптимізації температурно-часових режимів роботи термічних печей зазначеного типу.

Ключові слова: камерна рециркуляційна піч, підподові топки, термічна обробка, модернізовані пальники, економічний ефект

Вступ. Для реалізації процесів нормалізації, зм'якшувального та структурного відпалювання заготовок, сортового та бунтового прокату в термічному цеху ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» застосовують камерні рециркуляційні печі з підподовими топками. Такі печі є універсальними щодо різних видів термічної обробки, які виконують, а також розмірів металу, що обробляють, але мають значні конструктивні недоліки, що негативно впливають на рівномірність нагрівання металу, а також рівень питомої витрати палива й експлуатаційних витрат.

Пічне відділення цеху містить двадцять шість рециркуляційних печей з підподовими топками, які опалюють коксодоменною сумішшю тепловою згорання 6,7 МДж/м³. Під час експлуатації зазначених теплових агрегатів було виявлено суттєвий недолік: у проведенні періоду витримки металу, коли витрата палива на піч знижується до рівня 400...500 м³/год., не забезпечується стійкість процесу рециркуляції пічних газів, що призводить до нерівномірності нагрівання садки металу та збільшення тривалості вищезгаданого періоду обробки [1]. Як наслідок, спостерігають зниження продуктивності таких теплових агрегатів і підвищення витрати газоподібного палива.

Головна частина досліджень. З метою усунення зазначених недоліків відповідно до результатів виконаної роботи одну з камерних ре-

циркуляційних печей з підподовими топками підприємства було переведено на однічне опалювання з одночасним розширенням вихідних і рециркуляційних каналів.

Проте після модернізації печі не змогли забезпечити всі закладені в ній можливості за роботи з існуючими пальниками типу «труба в трубі» [2,3]. Одержані результати були нестабільними, а відсутність надійних пальникових пристроїв ускладнювала реконструкцію інших пічних агрегатів цього типу підприємства. Обмежений діапазон змінювання теплової потужності та низька стійкість до відривання полум'я від носика пальників, що вживають, за ступінчастим змінюванням витрати палива та повітря унеможливило використання систем автоматичного регулювання без додаткових складних систем контролю наявності полум'я, а також запальних пристроїв.

Зазначений недолік вдалося усунути шляхом розробки пальника часткового попереднього змішування, якого виконано на базі відомих пальників типу «труба в трубі». Запропонований пальник характеризується наявністю ділянки раптового розширення [4]. При цьому виготовили комплект пальникових пристроїв з відношенням внутрішнього діаметра центральної газової труби до внутрішнього діаметра наконечника, що дорівнює 0,4, а також радіальним розташуванням на ділянці раптового розширення вхідних повітряних отворів для підсмоктування первинного повітря. Під час експериментального випробування роботи пальникових пристроїв на печі було досліджено різні комбінації перероз-

поділу витрати палива та повітря між пальниками різних зон печі. Встановлено, що для всіх розглянутих режимів, включаючи граничні, коли витрата повітря була максимально можливою, а витрата палива – мінімальною, робота пальникових пристроїв відрізнялася стійкістю до відривання полум'я.

Випробування таких пальників за умов працюючої печі зафіксували стабільну роботу із співвідношенням «паливо - повітря» 1:25 та з межею регулювання щодо теплової потужності 1:40 [5].

Висока стійкість процесу горіння, яка обумовлена особливістю конструкції розроблених пальникових пристроїв, дозволяє забезпечити їх стабільну роботу без запальних пристроїв. Розширені межі регулювання таких пальників дають змогу використовувати системи автоматичного управління для реалізації будь-якого теплового режиму.

В той же час у період витримки металу, коли витрата палива на пальник не перевищує $50 \text{ м}^3/\text{год.}$, енергії струменя було недостатньо для подолання гідравлічного опору підподового каналу. Як результат порушувався проектний контур циркуляції пічних газів відносно поверхні садки металу.

Усунення цього недоліку досягали застосуванням імпульсного подавання палива та повітря у період витримки металу в печі й організацією зонального режиму її опалювання. При цьому завдання для регуляторів витрати палива та повітря на кожну зону встановлюють на двох рівнях: максимальному і мінімальному. За максимальної витрати енергія струменя та рециркуляція пічних газів є максимальними і садка металу в зоні інтенсивно омивається потоками пічних газів, що призводить до всебічного та рівномірного нагрівання металу в печі.

Після досягнення у робочому об'ємі зони заданої температури витрату палива та повітря зменшують до мінімальних значень, а вирівнювання температури для садки металу продовжується, в основному, за рахунок теплопровідності.

Для реалізації зонального режиму опалювання у робочому об'ємі печі виділяли п'ять зон (за кількістю підподових топок). У склепінні кожної зони встановлювали термоелектричний термометр, сигнали від яких подають на багаточисловий потенціометр. У зоні, що розташована біля заслінки печі, в першому варіанті зберегли пальники, які встановлено один назустріч одному. Управління ними здійснювали синхронно, за сигналом від одного термоелектричного термо-

метра. Інші пальникові пристрої регулювали індивідуально. Така система забезпечує автоматичну стабілізацію температури за всім робочим об'ємом печі [6].

Підвищення температури у робочому об'ємі печі до рівня $800 \text{ }^\circ\text{C}$ відбувалося за максимальної витрати палива та повітря. На початок періоду витримки металу значення перепаду температури за об'ємом садки досягає $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Період витримки металу здійснювали в імпульсному режимі. Через 9...10 годин після його початку максимальний перепад за об'ємом садки не перевищує $10 \text{ }^\circ\text{C}$, що свідчить про високу рівномірність нагрівання металу та дозволяє скоротити тривалість цього періоду на чотири години, а, отже, і загальний час термічної обробки металу. Відібрані зразки випаленого металу пройшли контроль на мікроструктуру без зауважень.

З урахуванням результатів дослідного відпалення виконали доопрацювання схеми опалювання печі та системи автоматичного регулювання температури. Два пальники першої зони було замінено на один пальниковий пристрій підвищеної потужності, який стійко працює на всіх режимах, що дозволило значно поліпшити аеродинаміку в робочому об'ємі печі й усунути недогрівання металу в зазначеній зоні, а також спростити розводку трубопроводів і регулювання температури.

Промислове випробування досліджуваного пальника виконували на одній з печей термічного цеху, відповідно до розробленої «Інструкції щодо проведення випробувань пальникового пристрою ЧПС-НТ для низькотемпературного відгартування».

Було досліджено межі регулювання двох варіантів конструкції пальника (I і II), які відрізняються кількістю та діаметром отворів у перфорованій перегородці газового сопла, а також площею кільцевого каналу для виходу повітря.

Встановлено, що пальники стійко працюють під час зменшення витрати палива від 40 до $1,0 \text{ м}^3/\text{год.}$ та незмінної витрати повітря, яка дорівнює $190 \text{ м}^3/\text{год.}$ Пальник I має площу прохідного перерізу для газу в 1,3 разів більшою, а кільцевий канал для подавання повітря у 2,5 разів меншим, ніж пальник II.

Стехіометричне співвідношення повітря та газоподібного палива, що використовують, складає $2,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Фактичний дійсний коефіцієнт витрати повітря збільшували від 2 до 83. Стабільна робота пальникового пристрою за таким значним надлишком повітря дозволяє підтримувати порівняно низькі температури на виході з топки, а також у верхній частині робочого об'є-

му печі. Результати вимірювань, що виконано на пальнику I за постійної витрати повітря, подано у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження пальника I за постійної витрати повітря

Паливо		Повітря		Температура, °С		
Витрата, м ³ /год.	Тиск, кПа	Витрата, м ³ /год.	Тиск, кПа	1	2	3
40	42630	190	16660	495	460	254
37	37730	190	16660	480	450	260
35	33320	187	16660	475	440	264
31	29890	186	16660	460	430	266
26	23030	190	16660	430	400	260
24	21560	190	16660	425	390	258
22	18130	190	16660	410	380	255
17	12740	190	16856	370	350	246
15	6860	190	16856	355	330	232
12	6370	190	17150	310	290	218
10	3920	190	17150	265	255	205
6	1960	185	17150	200	200	177
4	980	180	17150	180	180	166
4	980	180	17150	170	170	157
2	392	185	16954	160	160	150

Примітка: 1 - температура у кінці топки на осі пальника, 2 - температура на виході з полум'яного вікна, 3 - температура біля верху бічної стіни робочого об'єму печі

Слід зазначити, що витрату палива на пальник почали знижувати після стабільної її роботи протягом 0,5 години, а також виходу температури у точках 1 і 2 на стаціонарний режим. При цьому температура у точці 3 продовжувала деякий час підвищуватися через проходження періоду розігрівання печі.

Можливість досягнення діапазону низької температури перевіряли у режимі зниження витрати палива та зменшення температури у печі для уникнення впливу чинника розігрівання печі.

Як видно з наведених даних, розроблений пальник дозволяє тривалий час працювати із

значенням коефіцієнта витрати повітря більше зв 80 із мінімальною витратою палива, що дозволяє понизити температуру на виході з топки до рівня 200 °С і нижче.

Для оцінки роботи пальника у режимі спалювання палива із співвідношенням з повітрям близьким до стехіометричного використовували спарені дроселі газу та повітря. Результати досліджень наведено у табл. 2. Витрату палива та повітря поступово збільшували, при цьому на кожному кроці досягали стабільних значень температури.

Таблиця 2 – Результати дослідження пальника I за роботи спарених дроселів палива та повітря

Паливо		Повітря		Температура, °С		
Витрата, м ³ /год.	Тиск, кПа	Витрата, м ³ /год.	Тиск, кПа	1	2	3
2	980	25	196	95	120	146
4	3920	30	294	100	130	160
7	7350	40	686	120	145	167
11	11270	48	1274	150	185	170
13	16170	53	1568	180	200	172
17	18620	65	2156	220	300	175
20	21070	69	2548	260	340	179
26	27930	96	4116	280	375	186
31	32830	110	5488	320	400	195
33	36260	148	8820	350	420	210
37	40670	200	13720	415	455	225
40	42630	240	17640	440	480	241

Виробничу програму пічної ділянки термічного цеху, починаючи з періоду модернізації агрегатів за даними служб ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь», подано у табл. 3. Тут також наведено витрати газоподіб-

ного палива за період 1993-2009 р.р. в абсолютних і відносних одиницях, питомі нормативні та фактичні значення витрати палива на одиницю продукції, а також обсяг зниження його споживання.

Таблиця 3 – Динаміка економічних показників роботи пічної ділянки термічного цеху

Рік	Обсяг термічної обробки металу, т на рік	Річна витрата палива на термічну обробку металу т. у.п. на рік	Питома витрата палива кг у.п./т		Обсяг зниження споживання палива
			нормативний	фактичний	
1993	110200	10314	95,6	93,6	220,4
1994	108000	11060	104,7	102,4	253,4
1995	102500	10437	102,5	101,8	77,1
1996	109100	12568	115,3	115,2	11,0
1997	108000	11870	113,2	109,9	363,6
1998	112541	12720	100,5	97,1	347,0
1999	107895	13171	99,0	98,4	60,0
2000	112919	11217	100,0	94,4	690,0
2001	78005	79780	95,0	95,0	0
2002	92773	9226	95,0	94,2	75,4
2003	86383	8439	95,0	93,9	92,5
2004	118780	11214	94,6	91,2	400,5
2005	122291	11690	95,0	93,4	192,6
2006	125199	11758	95,0	92,2	347,3
2007	125432	11523	95,0	90,4	572,0
2008	105186	9940	95,0	93,0	208,4
2009	49107	47282	95,0	90,5	204,4
Разом					4171

Як видно з табл. 3, зафіксовано логічний і жорсткий взаємозв'язок між обсягом термічної обробки металу та споживанням палива. При цьому спостерігають лише незначні відхилення, які пояснюються організаційними моментами виробництва (простої холостого ходу, планове й

аварійне ремонтне обслуговування, пусконаладжувальні роботи).

Структуру виробничої програми цієї ділянки в 2009 р. за виробничими операціями подано у табл. 4.

Таблиця 4 – Структура виробничої програми пічної ділянки термічного цеху ВАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» за 2009 р:

Виробнича операція	Відпалювання	Нормалізація	Загартування	Противофлокенна обробка
Чисельне значення	45424	3290	344	49

Відомо, що упродовж даного періоду для опалювання камерних рециркуляційних печей з підподовими топками застосовували різні види багатоконпонентного газоподібного палива: від коксодоменної до природно-доменної суміші з різною теплою згорання. Тому доцільно подавати споживання палива за роками в умовних одиницях – тоннах умовного палива (т у.п.).

Слід зазначити, що виконання аналізу динаміки економії грошових коштів за роками у вартісному еквіваленті недоцільно, оскільки для даного періоду в Україні відбувалися кризові явища, як пов'язані зі зниженням виробництва продукції, так і значним підвищенням ціни на

газоподібне паливо. Окрім того, впливали курсові коливання національної грошової одиниці, а також низка інших чинників.

Висновки. Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що запропонована модернізація опалювальних систем камерних рециркуляційних печей з підподовими топками після впровадження та багаторічної експлуатації зарекомендувала себе як технічно й економічно виправдане удосконалення технологічного процесу, спрямоване на вирішення актуальних проблем ресурсо- й енергозбереження, підвищення продуктивності виробництва, а також зниження собівартості продукції.

Бібліографічний список

1. **Ревун, М. П.** Интенсификация работы нагревательных печей [Текст] / М. П. Ревун, В. И. Гранковский, А. Н. Байбуз. – Киев : Техника, 1987. – 135 с.
2. **Иванов, Ю. В.** Газогорелочные устройства [Текст] / Ю. В. Иванов. – М. : Металлургия, 1972. – 326 с.
3. **Гусовский, В. Л.** Сожигательные устройства нагревательных и термических печей [Текст] / В. Л. Гусовский, А. Е. Лифшиц, В. М. Тымчак; справочник. – М. : Металлургия, 1981. – 272 с.
4. **Пат. 2021558 Российская Федерация, МПК F 23 D 14/00.** Горелочное устройство [Текст] / М. П. Ревун, А. И. Чепрасов, С. В. Башлий, А. Н. Андриенко, И. А. Пилипенко, В. Р. Кравченко. Заявитель и патентообладатель Запорожский индустриальный институт. – № 5007416/23. – Заявл. 01.01.1991, опубл. 15.10.1994.
5. **Деклар. пат. 70600А. Україна, МПК F 23 D 14/20.** Пальниковий пристрій [Текст] / М. П. Ревун, С. В. Башлій, О. І. Чепрасов, О. М. Андрієнко, О. А. Данішевський, К. К. Онода, О. М. Барищенко. Заявник і патентотримач Запорізька державна інженерна академія. – № 29931211663. – Заявл. 16.12.2003, опубл. 15.10.2004.
6. **Башлій, С. В.** Дослід промислового впровадження пальників часткового попереднього змішування на камерних термічних рециркуляційних печах [Текст] / С. В. Башлій, О. П. Лютий, О. І. Чепрасов, Ю. М. Каюков // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2016. – Вип. 2 (36). – С. 98-101.

БАШЛИЙ СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: bsv.zgia,zp,ua@yandex.ru

ЛЮТЫЙ АЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ, кандидат технических наук, заместитель генерального директора, ОАО «Электрометаллургический завод «Днепропеталь» (Запорожье, Украина). E-mail: info@dss.com.ua

КАЮКОВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ, кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: lenajura2010@gmail.com

КУЗЬМЕНКО АЛЛА АНАТОЛЬЕВНА, доцент кафедры теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: kan1930@rambler.ru

МАТКАЗИНА РИММА РИНАТОВНА, доцент кафедры теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: amina77@yandex.ru

ЧИЖОВ СЕРГЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, старший преподаватель кафедры теплоэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: rushes@rambler.ru

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОТОПЛЕНИЯ КАМЕРНЫХ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПЕЧЕЙ С ПОДПОВОДНЫМИ ТОПКАМИ

Выполнен анализ экономических показателей тепловой работы камерных рециркуляционных печей с подповодными топками в условиях термического цеха ОАО «Электрометаллургический завод «Днепропеталь» с позиции модернизации системы отопления и, в частности, ее основного элемента - горелочного устройства. Путем экспериментального опробования показана целесообразность внедрения разработанной горелки в производственных условиях данного предприятия. Приведен комплексный экономический эффект за счет оптимизации температурно-временных режимов работы термических печей данного типа.

Ключевые слова: камерная рециркуляционная печь, подповодные топки, термическая обработка, модернизированные горелки, экономический эффект

BASHLIY SERGEY, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Metallurgy, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: bsv.zgia.zp.ua@yandex.ru

LYUTY ALEXANDER, Candidate of Technical Sciences, Deputy of Director OAJ «Electrometallurgy PAJ «Dnepropetsstal'», (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: info@dss.com.ua

KAYUKOV YURIY, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Heat and Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: lenajura2010@gmail.com

KUZMENKO ALLA, Associate Professor of Department of Heat and Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: kan1930@rambler.ru

MATKAZINA RIMMA, Associate Professor of Department of Heat and Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: amina77@yandex.ru

CHIZHOV SERGEY, Senior Teacher of Department of Heat and Power Engineering, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: rushes@rambler.ru

INDUSTRIAL RESEARCHES AND DEVELOPMENT OF HEATING FOR CHAMBER RECYRQULATIVE FURNACES WITH SOLE BURNERS

The analysis of economic performance of heat work of the chamber recyrqulative furnaces with sole burners at conditions of thermal workshop for PAJ «Electrometallurgical plant «Dneprospetsstal'» is carried out from position of modernization of the system of heating and particularly its basic element – burner-like device. By experimental sampling utility expedience of introduction of the developed burner at industrial conditions of this plant is showed. A complex economic effect due to optimization of the temperature and temporal modes of work for furnaces of this type is presented.

Keywords: chamber recyrqulative furnace, sole burners, thermal treatment, modernized burners, economic effect

Стаття надійшла до редакції 15.11.2016 р.
Рецензент, проф. І.Г. Яковлева

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>