Енергозберігаючі технології

УДК 662.767.66.041:669.162.27

DOI: 10.33070/etars.2.2020.04

Пилипенко Р.А.¹, канд. тех. наук, **Мельников Р.В.¹**, аспірант,
Цвєтков Є.С.²

¹ Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: ig.hil-ko@ukr.net, rvm@uanergy.com

² ТОВ «Енергія України», Київ

вул. Жилианська, 97, літера 3, 01135 Київ, Україна, e-mail: tse@uanergy.com

Економія природного газу в процесах сушіння та розігрівання металургійних ковшів

Представлено результати успішної модернізації систем опалення чавуновозних та сталерозливних ковшів доменного та мартенівського виробництв з метою зниження витрат природного газу та викидів шкідливих речовин. Модернізація здійснювалася з використанням швидкісних пальників різних конструкцій та переведення систем опалення на низькокалорійні скідні гази. Переведення системи опалення 100-тонних чавуновозних ковшів з природного газу на суміш скідних газів з природним газом дало можливість зменшити витрати природного газу більше ніж у 2 рази. Застосування швидкісного пальника MSB-80 при сушінні футерівки 100-тонних чавуновозних ковшів дало можливість інтенсифікувати процес сушіння та скоротити тривалість процесу у 2 рази. Економія природного газу становила понад 35 %. Використання технології точного нагрівання на базі швидкісних пальників ГНБ-1500 при модернізації систем опалення сталерозливних 250-тонних ковшів дало можливість підвищити рівномірність нагріву футерівки до ± 5 °С, скоротити питомі витрати природного газу з 37 до 29,7 м³/т, зменшити вміст шкідливих речовин у продуктах згоряння: CO ≤ 29 млн⁻¹, NO_x ≤ 53 млн⁻¹. На прикладі заміщення природного газу в системі опалення чавуновозних ковшів скідними газами, використання швидкісних пальників для спалювання природного газу при опаленні чавуновозних та сталерозливних ковшів показано реальну можливість суттєвого зменшення витрат природного газу, підвищення якості сушіння, зменшення тривалості процесів та шкідливих викидів. *Бібл. 6, рис. 9, табл. 3.*

Ключові слова: металургійні ковші, сушіння, розігрів, природний газ, скідні гази, рівномірність нагрівання, інтенсифікація нагрівання, питомі витрати, економія, шкідливі речовини.

Металургія є однією з найбільш енергоємних галузей промисловості України, яка споживає понад 16 % усіх енергоресурсів. У балансі металургійних заводів тільки доля природного газу сягає 40–45 %. У той же час гір-

ничометалургійна галузь України залишається основою економіки країни.

За даними «Інтерфакс-Україна» [1], металургійні підприємства України витрачали газу по роках, млрд м³: 2013 р. — 2,96; 2014 р. — 2,40;

2015 р. — 2,013; 2016 р. — 1,74; 2017 р. — 1,80; 2018 р., січень-липень — 1,09; 2019 р., січень-липень — 1,11. Зменшення використання газу пов'язане в основному зі скороченням виробництва.

У доменному виробництві використовується до 40 % природного газу від усього об'єму використання по галузі, а це тільки у 2018 р. складало 432 млн м³. У той же час у світі у виробництві більш 60 % чавуну природний газ взагалі не використовується. Слід зазначити, що металургійна промисловість України технічно сильно відрізняється від аналогічних підприємств у світі.

Найкрупніша галузь української економіки першою за часів незалежності стала орієнтуватися на експорт власної продукції. Тривала криза внутрішнього попиту та важка конкуренція зовнішніх ринків й сьогодні змушує українську металургію змінюватися.

Металургійна галузь хоч і отримувала значну дотаційну допомогу, та все ще морально та фізично є застарілою порівняно з провідними експортерами у світі. На жаль, українська металургія масштабної модернізації виробництва не отримала. З ростом ціни на блакитне паливо сьогодні одним із основних рішень є підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів за рахунок впровадження сучасних технологій для паливного обладнання та автоматизації технологічних процесів.

Саме комплексні рішення з модернізації чи повної заміни промислових печей, сушил різного призначення, котлів та інших агрегатів потрібні для руху всієї галузі уперед. У таких рішеннях використовують ефективні технології нагрівання, сучасні ефективні паливові при-

строї, якісні комплектуючі, сучасну систему автоматики, енергоефективні теплоізоляційні матеріали, що у сукупності дає значне зниження споживання природного газу та викидів шкідливих речовин. Завдяки комплексній структурі змін вдосконалюються показники кожної частини трикутника «Економіка — Енергія — Екологія».

Одним із обов'язкових допоміжних етапів у виробництві металу є транспортування, розливання та зберігання розплавленого металу. Ці операції здійснюються за допомогою футерованих металевих ковшів ємності від 0,25 т до 500,0 т. Перед заповненням ковшів розплавом їх розігрівають до температури від 600 °С до 1200 °С у залежності від того, який метал буде розливатися. Строк експлуатації футерівки ковша залежить від її якості та становить 9–15 плавов, а то й менше. Після ремонту чи заміни футерівки її сушать. Процеси сушіння та розігрівання футерівки ковшів здійснюють на спеціальних стендах: горизонтальних чи вертикальних. Стенди облаштовані кришками, стаціонарними чи рухомими, на яких встановлені пальники з газоповітряною рампою та зазвичай передбачена система відведення продуктів згоряння, але у багатьох випадках продукти згоряння з ємності ковша видаляються безпосередньо у цех. Зазвичай при сушінні та розігріванні ковшів як паливо використовується природний газ. Питомі витрати природного газу для сушіння та розігрівання ковшів в Україні у ліпшому випадку становлять 40 м³/т, зазвичай значно більше [2].

Основні недоліки процесів сушіння та розігрівання вітчизняних ковшів:

- високі питомі витрати природного газу;
- високий вміст шкідливих викидів, особливо СО на фоні недопалу;
- велика нерівномірність нагрівання футерівки, особливо недогрів її донної частини;
- відсутність автоматичного керування процесом нагрівання.

Відомо, що одним з дієвих способів зниження «газової» залежності є використання замість природного газу технологічних та скідних газів: руднотермічного, коксового, доменного, їх суміші з додаванням при потребі природного газу.

Як для природного газу, так і при використанні замісних газів дієвими способами зменшення їх витрат та шкідливих викидів є:

- якісне повне спалювання газу у межах робочого простору ковшів;
- інтенсифікація процесів нагрівання поверхні футерівки;

Рис.1. Схема футерівки чавуновозного ковша доменного цеху: 1–4 — термопари на кордоні арматурного та робочого шарів.

- забезпечення рівномірно температурного газового середовища вздовж поверхні футерівки та його інтенсивного руху;

- відповідність пального обладнання теплотехнології та агрегату;

- використання при спалюванні газів засобів зменшення вмісту шкідливих речовин у продуктах згоряння;

- зменшення витрат тепла з відхідними газами;

- утилізація тепла відхідних газів підігріванням компонентів газоповітряної суміші;

- застосування автоматики управління процесами спалювання газу, сушіння та розігрівання.

Для вирішення цих задач в Інституті газу НАН України розроблена технологія рівномірного нагрівання великогабаритних виробів та садок з виробів у камерних та тунельних печах, яка може бути застосована для інтенсивного рівномірного нагрівання поверхонь футерівок в обмежених просторах металургійних ковшів [3]. Основою цієї технології є інтенсивна рециркуляція продуктів згоряння попередньо підготовленої суміші газу з повітрям у вільному просторі агрегату. Для здійснення цієї технології розроблена серія швидкісних пальників ГНБ потужністю 80–1500 кВт [4].

Далі розглядається досвід використання деяких із цих способів на вертикальних стендах сушіння та розігрівання чавуновозних та сталерозливних ковшів металургійних комбінатів «МК ім. Ілліча» (м. Маріуполь) та ПрАТ «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя).

Модернізації стендів сушк чавуновозних ковшів

У 2016 р. на стенді сушки чавуновозних ковшів доменного цеху ПАТ «Запоріжсталь» був реалізований проект ТОВ «Енергія України» по заміні пальника СНТ-22 (конструкція університету «КПІ»), який працює на природному газі, на новий, швидкісний пальник СМЛТ-1200 («Енергія України»), що працює на суміші природного, коксового та доменного газів калорійністю 1900–2100 ккал/м³. До пального пристрою були додані вентилятор високого тиску та якісна запірно-регулювальна арматура іноземного виробництва. Також були встановлені лічильник та шафа керування пальником та головна шафа, яка керувала усім технологічним процесом.

За даними технічної служби та служби головного енергетика, усе обладнання працює успішно, використання природного газу на двох стендах для сушки 100-тонних ковшів виключене повністю. Питомі витрати природного газу до

реконструкції становили близько 120 м³/т. Економічний ефект від заміщення природного газу скидними газами склав 50–60 %.

Більш детально проаналізуємо роботу зі встановлення нового швидкісного пальника MSB-80 (YETEN, Туреччина) з комплектом запірно-регулюючої арматури та шафою керування технологічним процесом сушки на чавуновозному ковші доменного цеху «МК ім. Ілліча», м. Маріуполь. Швидкісний пальник MSB-80 працює за принципом дифузійного спалювання газу, при якому забезпечити повне (якісне) спалювання газу в обмеженому просторі ковша важко, оскільки процеси змішування газу з повітрям та його спалювання відбуваються по мірі утворення горючої суміші при змішуванні реагентів.

Відповідно до технічного завдання на модернізацію стенду сушки чавуновозних ковшів № 2 доменного цеху пальники MSB-80 у 2018 р. були встановлені замість пальників ГНП-7 на двох стендах у відділенні сушки чавуновозних ковшів доменного цеху та проведені експериментальні сушки з контролем температури футерівки ковшів.

У ході проведених випробувань було виконано п'ять сушок, за результатами яких оцінювалася ефективність заміни існуючих пальників типу ГНП-7 на пальник MSB-80. Протягом зазначеного періоду були проведені такі контрольовані сушки футерівки чавуновозних ковшів:

- одна сушка за базовим варіантом за чинною технологічною інструкцією (ТІ) — 48 год;

- дві сушки зі скороченою на 10 % тривалістю — 44 год;

- дві сушки зі скороченими тривалістю та витратами природного газу: одна сушка зі скороченою на 10 % витратою та тривалістю; друга сушка зі скороченою на 10 % витратою та тривалістю, скороченою на 27 % — до 35 год.

У період проведення дослідних сушок здійснювався контроль температури футерівки ковшів за показаннями термопар, встановлених у стінах ковшів на кордоні арматура — робочий шар за схемою, наведеною на рис.1. Відповідно до встановленого порядку сушка футерівки ковша вважалася закінченою при досягненні температури футерівки на кордоні арматура — робочий шар не менше 120 °С за показаннями усіх 4-х термопар.

Сушка чавуновозних ковшів за базовим графіком (по ТІ)

На графіках рис.2, 3 представлені дані щодо зміни температури футерівки ковшів при

Рис.2. Температурний графік сушки чавуновозного ковша № 33 з використанням ГНП-7 (витрата ПГ згідно ТІ).

сушінні за базовим графіком (тривалість та витрата природного газу по ТІ) з використанням існуючого пальника ГНП-7 (рис.2) та нового пальника MSB-80 (рис.3).

Дані рис.2, 3 свідчать про те, що задане значення температури футерівки, 120 °C на кінець сушки, було досягнуто як при використанні пальника ГНП-7, так і при використанні пальника MSB-80 за показниками усіх чотирьох термопар. При використанні MSB-80 за базовим графіком (тривалість та витрата по технологічній інструкції) значення максимальної температури футерівки на кінець сушки становить 416 °C (термопара 2) та мінімальної 222 °C (термопара 4). При використанні існуючого палинкового пристрою ці значення відповідно становлять 269 °C (термопара 2) та 142 °C (термопара 4). При цьому задана температура сушки на межі арматура — робочий шар (120 °C) досягається, за показниками термопар 4, через 19 год при використанні MSB-80 та через 40 год при ГНП-7, тобто на 21 год раніше.

Температура броні у кінці сушки за показаннями пірометра при використанні MSB-80

Рис.3. Температурний графік сушки чавуновозного ковша № 91 з використанням швидкісного пальника MSB-80 (витрата ПГ згідно ТІ).

складала від 93 (днище) до 109 °C (верх стін). При використанні ГНП-7 температура броні складала відповідно 84 та 96 °C. В обох випадках температура броні на кінець сушіння відповідала вимогам ТІ (не менше 70 °C).

Сумарна витрата природного газу за період сушки 48 год складала 3566,64 м³ (при температурі навколишнього середовища вище 5 °C). Питомі витрати природного газу при цьому становлять 118,5 м³/т.

На підставі отриманих результатів проведені експериментальні сушки зі скороченими витратами газу та скороченою тривалістю процесу при використанні нової системи опалення.

Сушка ковшів зі скороченою тривалістю та скороченою на 10 % витратою природного газу

Експериментальні сушки при використанні пальника MSB-80 виконувалися за такими режимами: 1 — згідно технологічної інструкції; 2 — при скороченій на 10 % тривалості сушіння; 3 — при скороченій на 10 % витраті газу; 4 — при скороченій на 20 % тривалості сушіння та скороченій на 10 % витраті газу.

У табл.1 наведені результати проведених експериментальних сушок та сушок за технологічною інструкцією.

Таблиця 1. Тривалість сушки, температура та витрати природного газу

Показник	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4
τ, год	48/48	—/44	—/44	—/35
T _{max} , °C	260/416	—/290	—/260	—/190
T _{min} , °C	142/222	—/175	—/170	—/170
V _{ПГ} , м ³ /год	76/76	—/76	—/68	—/—

Примітка. У чисельнику — пальник ГНП-7, у знаменнику — MSB.

Рис.4. Температурний графік сушки чавуновозного ковша № 47 зі скороченою на 10 % витратою природного газу та тривалістю 35 год.

Рис.5. Витрати природного газу при сушінні чавуновозних ковшів доменного цеху: 1 — згідно нової технологічної інструкції; 2 — згідно раніше існуючої інструкції..

На рис.4 представлений температурний графік процесу сушіння за режимом 4. Перепад температур у точках 1–4 значно зменшився у порівнянні з режимом 1 роботи за технологічною інструкцією при використанні ГНП-7 (див. рис.2) та при використанні MSB-80 (див. рис.3).

На рис.5 представлені графіки витрат природного газу (V) при сушінні чавуновозних ковшів до та після реконструкції.

На підставі отриманих даних були внесені відповідні зміни до технологічної інструкції щодо тривалості сушки. На цей час тривалість сушки складає 24 год, що у 2 рази менше за попередню.

Сумарні витрати природного газу складають 2800 м^3 за 24 год при температурі навколишнього повітря нижче 5°C та 2300 м^3 при температурі вище 5°C , питомі витрати — відповідно 93 та $76 \text{ м}^3/\text{т}$.

В результаті проведеної модернізації системи опалення чавуновозних ковшів з метою зменшення витрат природного газу внаслідок використання швидкісного пальника MSB-80 питомі витрати газу на сушку та на розігрів ковша суттєво знижені — від $118,5$ до $76 \text{ м}^3/\text{т}$. Завдяки інтенсифікації нагрівання тривалість процесу скорочена у 2 рази, економія природного газу становить понад 35 %.

Подальше зниження питомих витрат природного газу можливе при використанні швидкісних пальників «кінетичного» принципу спалювання газу.

Модернізація 250-тонних сталерозливних ковшів

У 2017 р. на «МК ім. Ілліча», враховуючи отриманий досвід застосування швидкісних пальників «дифузійного» згоряння газу на

стендах доменного цеху та досвід Інституту газу НАН України в розробці та використанні технології точного нагрівання виробів та поверхонь, на основі використання швидкісних пальників «кінетичного» згоряння газу нами виконана модернізація системи опалення одного з 6 стендів сушки та розігріву 250-тонних сталерозливних ковшів мартенівського цеху.

У системах опалення 6-ти стендів використовувалися пальники СНТ-22 (конструкції «КПІ»). Основні недоліки систем опалення цих стендів: високі витрати природного газу (до $160 \text{ м}^3/\text{год}$), висока тривалість процесу (до 14 год), нерівномірність нагрівання футерівки ($\Delta t = 30\text{--}50^\circ\text{C}$), недогрів донної частини ковша до заданої температури при досить низьких питомих витратах ПГ $37 \text{ м}^3/\text{т}$. Недогрівання донної частини ковша пояснюється особливістю конструкції пальника СНТ — пальника з частковим підготуванням газоповітряної суміші у системі n -ої кількості паралельних струменів, з яких потім складається факел.

Спалювання попередньо підготовленої суміші природного газу з повітрям у суцільному струмені дає можливість отримати набагато жорсткіший струмінь продуктів згоряння з більшою кінетичною енергією, організувати інтенсивну рециркуляцію продуктів згоряння до кореня струменя, що приводить до вирівнювання температур у газовому середовищі ковша та, головне, забезпечує повне спалювання газу в стислом просторі ковша та сприяє створенню умов для зменшення вмісту шкідливих речовин у продуктах згоряння [3]. Наявність у пальника ГНБ-1500 стабілізатора горіння забезпечує надійну роботу пальника у широкому інтервалі змін теплової потужності ($1 : 5$) та коефіцієнта надлишку повітря при сушінні до 2,0-х. Наявність жорсткого потужного струменя продуктів згоряння ($70 \leq w$,

Рис.6. Пальник ГНБ-1500 у кришці 250-тонного ковша.

$w \geq 100$ м/с) забезпечує його далекобійність $\geq 60D$ (D — початковий діаметр струменю, мм) та подавання необхідної кількості тепла до донної частини футерівки [4, 5].

На рис.6 показаний працюючий паливник ГНБ-1500 у кришці ковша. Термограма донної частини ковша (рис.7) свідчить про високу рівномірність нагріву та, відповідно, високу якість сушки.

Зафіксоване тепловізором температурне поле всієї поверхні броні ковша впродовж процесу сушки-розігріву показує, що розігрів футерівки починається з донної частини ковша (рис.8) та є рівномірним (± 5 °C).

За період вересень-жовтень 2017 р. були проведені дослідні сушки ковшів на стенді

Рис.7. Термограма донної частини 250-тонного ковша наприкінці сушки.

Рис.8. Термограма броні 250-тонного ковша від початку до закінчення процесу сушіння-розігрівання

Рис.9. Середньогодинна витрата природного газу V на стендах № 3 (1–3) та № 6 (4) сталерозливних ковшів.

№ 3: з новою системою опалення, з паливником ГНБ-1500, та для порівняння, сушки на стенді № 6, де встановлений паливник СНТ-22.

На рис.9 представлені графіки витрат природного газу при новій та попередній системах опалення, з яких видно, що витрати газу при використанні паливника ГНБ-1500 суттєво нижчі, ніж при використанні паливника СНТ-22.

Під час експериментальних сушок ковша виконувалися виміри складу продуктів згоряння на виході з 250-тонного ковша при використанні швидкісного паливника ГНБ-1500, приведені значення яких наведені у табл.2.

Значення CO та NO_x , наведені у табл.2,

Таблиця 2. Склад приведених значень шкідливих речовин у продуктах згоряння

Час виміру	O_2 , %	NO_x , млн ⁻¹	$CO_{факт}$, млн ⁻¹	CO ПДК, млн ⁻¹
15:10 09.10	7,5	43	27	110
16:15 09.10	7,9	37	9	110
00:07 10.10	6,8	53	6	110
13:00 26.10	8,0	49	29	110
15:30 26.10	8,9	43	15	110

набагато нижчі, ніж вимагає законодавство України та повністю відповідають діючим стандартам ЄС. Зниження кількості CO є результатом якісної підготовки газоповітряної суміші, зменшення NO_x відбувається за рахунок рециркуляції охолоджених продуктів згоряння у прикореневу зону струменю та скорочення тривалості знаходження NO в зоні високих температур у прикореневій зоні струменю [5, 6].

Результати експериментальних сушок при використанні **обох систем** опалення представлені у табл.3.

У результаті дослідних випробувань нової системи опалення стенду № 3 мартенівського

Таблиця 3. Витрати природного газу на сушку футерівки 250-тонних ковшів

Дата вимірів	Номер стенду	Початок сушки, год-хв	Кінець сушки, год-хв	Тривалість сушки, год	Витрати газу, м³/год	Витрата газу за процес, м³	Економія газу, %
27.09.2017–28.09.2017	3	12–25	00.–10	11–15	124	1388	
28.09.2017– 29.09.2017	3	13–52	01–10	11–18	130	1467	
26.10.2017	3	11–15	22–15	11–00	122	1342	
Середнє за дослідними сушками				11–11	125	1399	19,8
11.10.2017	6	11–40	22–40	11–00	154	1696	
28.10.2017	6	0–45	12–45	12–00	150	1800	
01.11.2017	6	02–00	13–30	11–30	154	1739	
Середнє за порівняльними сушками				11–44	153	1745	

цеху заводу «Запоріжсталь» отримані такі позитивні результати:

- економія природного газу склала понад 19 %;
- тривалість сушки-розігріву скоротилася у середньому на 30 хв;
- рівномірність нагріву футерівки ковша склала ± 5 °С;
- температура корпусу в контрольній точці дорівнює 104 °С;
- температура за всією висотою донної частини ковша — 95,4 °С;
- вміст шкідливих речовин (приведений): $\text{CO}_{\text{макс}} \leq 29 \text{ млн}^{-1}$; $\text{NO}_{\text{х макс}} \leq 53 \text{ млн}^{-1}$;
- питомі витрати природного газу скоротилися з 37 до 29,7 м³/т.

Згідно офіційних даних комбінату, швидкісний пальник ГНБ-1500 за період роботи з грудня 2017 р. до березня 2018 р. дав можливість зменшити витрати природного газу на 20 % порівняно з пальником СНТ-22 та підвищити рівномірність нагрівання.

На підставі цих результатів у 2019 р. розпочато модернізацію систем опалення останніх 5-ти вертикальних стендів для сушки-розігріву 250-тонних ковшів мартенівського цеху МК ПрАТ «Запоріжсталь».

Висновки

На прикладі заміщення природного газу в системі опалення чавуновозних ковшів скидними газами, використання швидкісних пальників для спалювання природного газу при опаленні чавуновозних та сталерозливних ковшів показано реальну можливість суттєвого зменшення витрат природного газу, підвищення якості сушки, зменшення шкідливих викидів.

Отримані результати щодо питомих витрат природного газу показують, що використання застарілих та невідповідних технологій спалювання природного газу в галузі обумовлює колосальну енергоємність металургійного виробництва, призводить до неефективного споживання паливно-енергетичних ресурсів та, як наслідок, до зниження конкурентоспроможності української металопродукції. Якщо брати до уваги долю металургії та суміжних галузей у ВВП країни, а це майже 16 %, подальші інвестиції в модернізацію основного та допоміжного технологічного обладнання, дослідження та розробку нових технологій нагріву, створення нового вітчизняного ефективного обладнання можна вважати антикризовими заходами.

Список літератури

1. Интерфакс-Украина. 2018–2019. № 4. — <https://interfax.com.ua/news/economic/503579.html/>
2. Карп И.Н., Зайвий А.Н. Энергосберегающие технологии в металлургии. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2006. № 1. С. 17–21.
3. Пилипенко Р.А., Пилипенко А.В., Догвиненко Д.М. Основные положения технологии точного нагрева в печах садочного типа. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2013. № 5. С. 56–63.
4. Пат. 22209 Укр., F 23 D 14/22, 14/26. Газовий пальник. Р.А.Пилипенко, Б.Д.Сезоненко, А.Є. Єринов, В.О.Сорока, Т.В.Скотнікова, С.О. Петішкін. — Оубл. 1998, Бюл. № 3.
5. Пилипенко Р.А. Разработка, исследование и внедрение скоростных газовых горелок типа ГН. Теория и практика сжигания газа. Л. : Недра, 1981. С. 226–231.
6. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. Л. : Недра, 1988.

Надійшла до редакції 20.04.20

Пилипенко Р.А.¹, канд. тех. наук,
Мельников Р.В.¹, аспирант, **Цветков Е.С.²**

¹ Институт газа НАН Украины, Киев

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: ig.hil-ko@ukr.net, rvm@uanergy.com

² ООО «Энергия Украины», Киев

ул. Жилинская, 97, буква 3, 01135 Киев, Украина, e-mail: tse@uanergy.com

Экономия природного газа в процессах сушки и разогрева металлургических ковшей

Представлены результаты успешной модернизации систем отопления чугуновозных и сталеразливочных ковшей доменного и мартеновского производств с целью снижения затрат природного газа и выбросов вредных веществ. Модернизация происходила с использованием скоростных горелок разных конструкций и перевода систем отопления на низкокалорийные выбросные газы. Переведение системы отопления 100-тонных чугуновозных ковшей с природного газа на смесь выбросных газов с природным газом дало возможность уменьшить расход природного газа более чем в 2 раза. Применение скоростной горелки MSB-80 при сушке футеровки 100-тонных чугуновозных ковшей позволило интенсифицировать процесс сушки и сократить продолжительность процесса в 2 раза. Экономия природного газа составляла более 35 %. Использование технологии точного нагревания на базе скоростных горелок ГНБ-1500 при модернизации систем отопления сталеразливочных 250-тонных ковшей позволило повысить равномерность нагрева футеровки до $\pm 5^\circ\text{C}$, сократить удельные расходы природного газа с 37 до $29,7 \text{ м}^3/\text{т}$, уменьшить содержание вредных веществ в продуктах сгорания: $\text{CO} \leq 29 \text{ млн}^{-1}$, $\text{NO}_x \leq 53 \text{ млн}^{-1}$. На примере замещения природного газа в системе отопления чугуновозных ковшей выбросными газами, использования скоростных горелок для сжигания природного газа при отоплении чугуновозных и сталеразливочных ковшей показана реальная возможность существенного уменьшения расходов природного газа, повышения качества сушки, уменьшения продолжительности процессов и вредных выбросов. *Библ. 6, рис. 9, табл. 3.*

Ключевые слова: металлургические ковши, сушка, разогрев, природный газ, сбросные газы, равномерность нагревания, интенсификация нагрева, удельные расходы, экономия, вредные вещества.

Pylypenko R.A.¹, Candidate of Technical Sciences,
Melnikov R.V.¹, Graduate Student, ***Tsvetkov Ye.S.²***

¹ Institute of Gas of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

39, Degtyarivska Str., 03113 Kyiv, Ukraine, e-mail: ig.hil-ko@ukr.net, rvm@uanergy.com

² «Energy of Ukraine» Ltd, Kyiv

97, let. 3, Zhilyanska Str., 01135 Kyiv, Ukraine, e-mail: tse@uanergy.com

Natural Gas Saving in the Processes of Drying and Heating of Metallurgical Ladles

The article shows the results of successful modernization of heating systems for cast iron and steel still-pouring ladles of blast furnace and open-hearth production. It was implemented by Ukraine Energy Ltd. with participation of the Institute of Gas of the National Academy of Science of Ukraine. The main aim was reducing of natural gas consumption and emissions. The modernization has been completed using high-speed burners of various designs and changing heating systems to low-calorie gas. Changing of the heating system of pig-iron ladles of 100 tons from natural gas to the mixture of waste gases with natural gas has allowed to reduced the consumption of natural gas more than twofold. The use of the MSB-80 high-speed burner for drying the lining of 100 tons of iron ladles has made it possible to intensify the drying process and reduce the process time twofold as well. Natural gas saving is more than 35 %. The use of precision heating

technology with GNB-1500 high-speed burners for the modernization of heating systems for steel casting 250 tons of ladles enables to increase the uniformity of heating the lining to ± 5 degrees, reduce the specific consumption of natural gas from 37 m³/t to 29.7 m³/t, and reduce the content of harmful substances in combustion products: CO $\leq$ 29 ppm, NO_x $\leq$ 53 ppm. On example of changing natural gas in the heating system of cast-iron ladles with waste gases and using high-speed burners for burning natural gas is shown a real possibility to significantly reduce the consumption of natural gas, improve the quality of drying, reduce the time of processes and emissions. *Bibl. 6, Fig. 9, Tab. 3.*

Key words: metallurgical ladles, drying, heating, natural gas, waste gases, uniformity of heating, intensification of heating, saving of natural gas, specific consumption, saving, harmful substance.

References

1. [Interfax-Ukraine]. 2018-2019. No. 4. — <https://interfax.com.ua/news/economic/503579.html/> (Rus.)
2. Karp I.N., Zayvy A.N. [Energy-saving technologies in metallurgy]. *Ecotechnologii i Resursoberezhenie. [Ecotechnologies and Resource Saving]*. 2006. No 1. pp. 17–21. (Rus.)
3. Pylypenko R.A., Pylepenko A.V., Dogvinenko D.M. [The main provisions of the technology of precise heating in furnace-type furnaces]. *Energotechnologii i Resursoberezhenie. [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2013. No. 5. pp. 56–63. (Rus.)
4. Pat. 22209 UA, F 23 D 14/22, 14/26. [Gazoviy oil seal]. R.A.Pylypenko, B.D.Sezonenko, A.Ye. Erinov, V.O.Soroka, T.V.Skotnikova, S.O.Petishkin. Publ. 1998, Bull. 3. (Ukr.)
5. Pylypenko R.A. [Development, research and implementation of high-speed gas burners type GN. Theory and practice of gas combustion]. Leningrad : Nedra, 1981, pp. 226–231. (Rus.)
6. Sigal I.Ya. [Protection of the air basin during fuel combustion]. Leningrad : Nedra, 1988. (Rus.)

Received April 20, 2020

У видавництві Springer у 2018 р. вийшла книга професорів П. Балтрена та Е. Балтренайте «Малі біореактори для поводження з відходами, що біологічно розкладаються». Професор Пранас Балтрена — визначний вчений-еколог, керівник Інституту охорони навколишнього середовища Вільнюського технічного університету ім. Гедимінаса, автор численних наукових монографій та публікацій.

Тематика книги присвячена вирішенню проблеми утилізації біологічних відходів, яка є однією з профілюючих у наукових розробках Інституту газу НАН України. У книзі висвітлено такі основні проблеми: джерела, характеристики, величини та прогнози потоків виробництва відходів, що біологічно розкладаються, та визначення змісту та складу біогазу на малих підприємствах, у харчовій промисловості та муніципальних господарствах; дослідження, проектування та розробка маломасштабних біореакторів на сільськогосподарських підприємствах та у харчовій промисловості; дослідження, проектування та розробка маломасштабних компостів біореакторів як частини біоценозу, викидів газів, що утворюються під час компостування, їх якісний склад та структура.

У монографії розглядається проблема зменшення кількості відходів, що біологічно розкладаються, для пом'якшення наслідків впливу на зміни клімату. Основні об'єкти дослідження охоплюють функціонування малих біореакторів для виробництва біогазу та компосту, а також біологічних органічних відходів. Вибір конкретних відходів, що біологічно розкладаються, та їх сумішей дає змогу підвищити ефективність роботи біореактора.

В монографії обговорюються економічні, соціальні та екологічні підходи до підбору малих біореакторів, що можуть використовуватися для виробництва біогазу на малих підприємствах харчової промисловості з позицій вигоди для користувачів. Аналізуються дані про відходи, що використовуються для дослідницьких цілей, надається інформація щодо кількості біогазу, обладнання агрегатів біореакторів та їх основних складових, а також характеризуються можливості масштабування обладнання. Наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень з переробки біомаси в малих біореакторах, моделювання виробництва біогазу, проектування та використання нового обладнання на малих підприємствах харчової промисловості та у муніципальній сфері.

Книга розрахована на вчених та інженерів, що працюють у сфері промислової екології, фахівців та експертів з охорони навколишнього середовища. Монографію як джерело наукових знань можна використовувати для підготовки аспірантів та докторантів.

Б.Ільєнко, учений секретар Інституту газу НАН України