

УДК 622.53

О.В. Гупало ⁽¹⁾, доцент, к.т.н.А.С. Строменко ⁽¹⁾, аспірантВ.І. Гупало ⁽²⁾, інженер, к.т.н.А.А. Кузьменко ⁽³⁾, ст. викладач

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА У НАГРІВАЛЬНИХ ПЕЧАХ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА

⁽¹⁾ Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ,⁽²⁾ ПАО «ІТІП «Укренергочермет», м. Дніпропетровськ,⁽³⁾ Запорізька державна інженерна академія

Предложена методика оценки экономической и технологической эффективности замены природного газа водоугольным топливом для отопления печей прокатного производства. На примере методической печи сортопрокатного стана показано, что использование водоугольного топлива при существующих ценах на природный газ и уголь позволяет снизить на 47 % расходы по статье «Технологическое топливо». Рассмотрено влияние различных факторов на эффективность использования водоугольного топлива в печах указанного типа.

Ключевые слова: природный газ, водоугольное топливо, методическая печь, экономия природного газа

Запропоновано методику оцінки економічної та технологічної ефективності заміни природного газу на водовугільне паливо для опалювання печей прокатного виробництва. На прикладі методичної печі сортопрокатного стану показано, що використання водовугільного палива за існуючої ціни на природний газ і вугілля дозволяє понизити на 47 % витрати щодо статті «Технологічне паливо». Розглянуто вплив різних чинників на ефективність використання водовугільного палива у печах зазначеного типу. Ключові слова: природний газ, водовугільне паливо, методична піч, економія природного газу

Method for estimation of economic and technical efficiency at exchange of natural gas by a water-coal fuel has been offered for heating furnaces of rolling-mill production. of the rolling mill. It was shown on the example of continuous furnace of section-rolling figure, that the using of water-coal fuel at present prices on natural gas and coal allows to reduce on 47 % costs on the item «Technological fuel». The influence of different factors on efficiency of coal-water fuel use in furnaces of the mentioned type has been considered.

Keywords: natural gas, coal-water fuel, continuous furnace, saving of natural gas

Вступ. Уперше водовугільне паливо (ВВП), як альтернативу природному газу та мазуту, розглядали у період паливної кризи сімдесятих років минулого століття. Нині технології виробництва та транспортування ВВП споживачам можна вважати розробленими, а само ВВП – готовим до використання як головне паливо для теплових агрегатів металургії та теплоенергетики [1-3].

За умов постійного зростання цін на природний газ проблеми організації виробництва та споживання ВВП набувають особливого значення, оскільки для його виготовлення можна використовувати будь-яке вугілля – від бурого до антрациту, а також шлами й інші тонкодисперсні відходи вуглезбагачення. При цьому транспортування на значні відстані та зберігання ВВП протягом тривалого часу не знижують його якість. Враховуючи технологічні властивості ВВП, досить високу калорійність і значні запаси вугілля на території України, його слід вважати головним

альтернативним паливом для природному газу [1,4].

Постановка завдання. Метою роботи є оцінка економічної та технологічної ефективності заміни природного газу на водовугільне паливо за опалюванням нагрівальних печей прокатного виробництва.

Характеристика об'єкту дослідження. Як об'єкт дослідження вибрали нагрівальну методичну піч сортопрокатного стану, призначену для нагрівання заготовок поперечним перерізом 400×400 мм і довжиною 6000 мм з вуглецевих і конструкційних марок сталей до кінцевої температури 1240 °С з перепадом температури за перерізом заготовки у кінці нагрівання на рівні 20...40 °С. Робочий простір печі розділений на чотири зони опалювання. Температуру в зонах підтримують на такому рівні: томильна зона 1240...1250 °С, зварювальна зона – 1280...1300 °С, підігрівальна зона – 1050...1250 °С і нижня зона – 1260...1290 °С. Димові гази покидають робочий простір печі з температурою 900 °С. Повітря, що поступає на спалювання палива, пі-

дігрівають у рекуператорі до температури 250 °С. За максимальної продуктивності печі 52 т/год. витрата природного газу складає 3400 м³/год.

Теплотехнічна оцінка палива. Розглядали можливість використання ВВП, виготовленого на основі вугілля марки «Г», для заміни природного газу в методичній печі. Елементарний склад ВВП за масової концентрації вугілля у паливі 62 % згідно [1], % мас.: W^p - 38, A^p - 17,36, S^p - 2,136, C^p - 35,328, H^p - 2,484, N^p -

0,621, O^p - 4,071, його нижча теплота згоряння – 13,41 МДж/кг.

За даними роботи [1], вартість ВВП визначається вартістю та концентрацією вугілля у складі палива і для даного разу може бути вираженою наступним співвідношенням:

$$C_{ввп} = 1,013 \cdot C_g = 1621 \text{ грн./т}, \quad (1)$$

де C_g – вартість вугілля марки «Г», $C_g = 1600$ грн./т.

Порівняльну характеристику природного газу та ВВП наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика природного газу та ВВП

Показник	Природний газ	ВВП
Нижча теплота згоряння палива	36,32 МДж/м ³	13,41 МДж/кг
Коефіцієнт витрати повітря	1,05	1,07
Дійсна витрата повітря	10,12 м ³ /м ³	4,0 м ³ /кг
Вихід продуктів згоряння	11,14 м ³ /м ³	4,644 м ³ /кг
Теплоємність продуктів згоряння палива	1,534 кДж/(м ³ ·К)	1,542 кДж/(м ³ ·К)
Калориметрична температура горіння палива	2136 °С	1930 °С
Дійсна температура горіння палива	1348.1495 °С	1255.1350 °С
Коефіцієнт використання теплоти палива (КІТ)	0,665	0,620
Вартість палива	8900 грн./тис.м ³	1621 грн./т
Щільність	0,0,754 кг/м ³	–

Методика розрахунку заміни палива й економії витрат за статтею «Технологічне паливо». Виходячи з припущення, що після заміни палива у методичній печі її температурний режим, кінцеві параметри нагрівання металу та продуктивність не змінюються, можна записати співвідношення між кількістю теплоти, що буде витрачено на нагрівання металу, до і після заміни палива :

$$V_{n_2} \cdot Q_{n_2}^p \cdot \eta_{n_2} = B_{ввп} \cdot Q_{н_ввп}^p \cdot \eta_{ввп}, \text{ МВт}, \quad (2)$$

де V_{n_2} – витрата природного газу, м³/с; $B_{ввп}$ – витрата водовугільного палива, кг/с; $Q_{n_2}^p$ – нижча робоча теплота згоряння природного газу, МДж/м³; $Q_{н_ввп}^p$ – нижча робоча теплота згоряння ВВП, МДж/кг; η_{n_2} , $\eta_{ввп}$ – коефіцієнти використання палива (КІТ) під час опалювання печі природним газом та її роботи на ВВП, відповідно.

Із співвідношення (2) витрату ВВП можна обчислити як

$$B_{ввп} = V_{n_2} \cdot K_{n_2-ввп}, \text{ кг/с}, \quad (3)$$

де $K_{n_2-ввп}$ – коефіцієнт заміни природного газу на водовугільне паливо [5], кг/м³,

$$K_{n_2-ввп} = Q_{н_н_2}^p \cdot \eta_{n_2} / (Q_{н_ввп}^p \cdot \eta_{ввп}).$$

Для даної методичної печі $K_{n_2-ввп} = 2,90$ кг/м³, тобто 2,90 кг ВВП замінюють 1, 0 м³ природного газу.

Економію коштів E щодо статті «Технологічне паливо» під час переведення печі на опалювання ВВП розраховують за формулою:

$$E = \left(1 - \frac{C_{ввп}}{C_{n_2}} \right) \cdot 100, \%, \quad (4)$$

де $C_{ввп}$, C_{n_2} – витрати на паливо під час опалювання печі ВВП і природним газом, грн./с, відповідно; $C_{ввп} = B_{ввп} \cdot C_{гвп}$, $C_{n_2} = V_{n_2} \cdot C_{n_2}$, $C_{гвп}$, C_{n_2} – ціна водовугільного палива, грн./т, і природного газу, грн./тис.м³, відповідно.

Враховуючи формулу (3), співвідношення (4) має вигляд:

$$E = \left(1 - \frac{C_{гвп}}{C_{n_2}} \cdot K_{n_2-ввп} \right) \cdot 100, \%. \quad (5)$$

Результати досліджень. Результатами розрахунків встановлено, що заміна природного газу на водовугільне паливо у методичній печі забезпечує економію коштів щодо статті «Технологічне паливо» на рівні 47 %.

Проте, незважаючи на високу економічну ефективність застосування ВВП для опалювання методичної печі, його калориметрична та дійсна температури горіння є нижчими за відповідні температури горіння природного газу (див. табл. 1). Відомо, що для забезпечення заданого технологічного режиму нагрівання металу розрахункове значення дійсної температури горіння ВВП повинно бути вище заданих значень температури у робочому просторі опалювальних зон печі. Якщо зазначена умова не дотримується, потрібно розробити заходи, спрямовані на підвищення калориметричної температури горіння ВВП, серед яких найбільш перспективними слід вважати наступні.

1. Підвищення температури підігрівання повітря для горіння.

У табл. 2 наведено залежність калориметричної температури горіння ВВП від температури підігрівання повітря для даної печі. Як видно з таблиці, збільшення температури підігрівання повітря від 250 до 350 °С забезпечує підвищення калориметричної температури на 60 °С. При цьому коефіцієнт використання теплоти палива збільшується від 0,62 до 0,66, а коефіцієнт заміни палива знижується від 2,90 до 2,73 м³/кг, що забезпечує збільшення економії коштів за статтею «Технологічне паливо» з 47 до 50 %.

Таблиця 2 – Залежність калориметричної температури горіння ВВП від температури підігрівання повітря

Температура підігрівання повітря, °С	0	100	200	300	400
Калориметрична температура горіння, °С	1770	1840	1910	1960	2015

Збільшення температури підігрівання повітря може бути досягнутим за рахунок підвищення ефективності теплової роботи рекуператора шляхом усунення підсосів холодного повітря до димового тракту, підвищення газощільності теплообмінника й усунення витоків повітря на сторону відведення продуктів горіння, або шляхом заміни існуючого рекуператора ефективнішим.

2. Змінювання температурного режиму печі з пониженням температури у високотемпературній зоні.

Задану температуру та якість нагрівання металу в методичній печі забезпечують за рахунок раціонального розподілу теплового навантаження щодо зон печі. Збільшення витрати палива у зонах печі, перших щодо руху металу, забезпечує вищу рівномірність його нагрівання з одночасним зниженням температури у високотемпературних зонах, розташованих ближче до вікна видачі. Проте це призводить до підвищення температури продуктів горіння, що відходять, і, як наслідок, до збільшення питомої витрати палива. Розрахунки, виконані для даної методичної печі показали, що підвищення температури продуктів горіння, які відходять, з 900 до 1000 °С, у припущенні, що коефіцієнт рекуперації теплоти залишиться без змінювань, призводить до підвищення температури підігрівання повітря від 250 до 300 °С і забезпечує підвищення калориметричної температури горіння ВВП від 1930 до

1960 °С. В той же час коефіцієнт використання теплоти палива зменшується від 0,62 до 0,58, а коефіцієнт заміни природного газу ВВП збільшується від 2,90 до 3,13 м³/кг, при цьому економічний ефект від переведення печі на ВВП складає 43 %.

3. Використання у високотемпературній зоні печі палива з вищою калориметричною температурою горіння.

Є можливими два варіанти реалізації цього заходу:

– опалювання високотемпературної зони печі природним газом, а інших зон – водовугільним паливом;

– опалювання високотемпературної зони печі сумішшю природного газу та водовугільного палива, а інших зон – водовугільним паливом.

Витрата природного газу у високотемпературній зоні даної печі складає 1200 м³/год., в її інших зонах – 2200 м³/год., при цьому витрати на паливо досягають 30260 грн./год, у тому числі на опалювання високотемпературної зони 10680 грн./год.

У першому разі, після заміни в усіх зонах печі (окрім високотемпературної) 2200 м³/год. природного газу на 6380 кг/год. водовугільного палива витрати на ВВП складають 10342 грн./год., а загальні витрати на паливо – 21022 грн./год. Економія коштів за статтею «Технологічне паливо» досягає 9238 грн./год., тобто 30,5 %.

Таблиця 3 – Результати розрахунків горіння суміші природного газу та ВВП

Склад суміші, %		Нижча теплота згоряння суміші, МДж/кг	Вартість палива, грн./т	Коефіцієнт використання палива	Коефіцієнт заміни ПГ сумішшю	Калориметрична температура горіння суміші, °С	Економія щодо статті «Технологічне паливо», %
ПГ	ВВП						
100	0	48,17	11804	0,665	–	2136	–
90	10	44,69	10786	0,664	0,814	2127	1,80
80	20	41,22	9767	0,662	0,885	2118	2,33
70	30	37,74	8749	0,660	0,970	2109	4,65
60	40	34,27	7731	0,658	1,070	2100	7,05
50	50	30,80	6713	0,655	1,200	2080	9,50
40	60	27,32	5694	0,652	1,360	2060	13,00
30	70	23,85	4676	0,647	1,570	2040	17,50
20	80	20,37	3658	0,641	1,850	2010	24,00
10	90	16,89	2639	0,633	2,260	1980	33,00
0	100	13,42	1621	0,620	2,900	1930	47,20

Під час оцінки другого варіанту реалізації вказаного заходу виконано розрахунки горіння суміші ВВП і природного газу для умов методичної печі сортопрокатного стану з використанням методики, наведеної у роботі [6]. Результати розрахунків подано у табл. 3.

З табл. 3 видно, що переведення високотемпературної зони печі на опалювання сумішшю, яка складається з 30 % природного газу та 70 % водовугільного палива, збільшує калориметричну температуру горіння на 110 °С порівняно з використанням ВВП, а дійсна температура горіння палива досягає 1428 °С. Витрата суміші на опалювання зони складає 1884 кг/год., у тому числі водовугільного палива 1319 кг/год. і природного газу 749 м³/год., при цьому економія коштів за статтею «Технологічне паливо» досягає 36,7 %, що на 6,20 % більше, ніж за опалюванням високотемпературної зони печі природним газом.

Висновки.

1. Розглянуто ефективність застосування

водовугільного палива для опалювання нагрівальних печей. На прикладі чотирьохзонної методичної печі сортопрокатного стану показано, що за існуючих цін на вугілля та природний газ переведення печі на опалювання водовугільним паливом забезпечить економію коштів щодо статті «Технологічне паливо» на 47 %.

2. Запропоновано низку заходів, спрямованих на вирішення проблеми забезпечення заданого технологією рівня температури у високотемпературній зоні печі, під час замінювання палива, а також виконано аналіз їх ефективності. Показано, що за найменших витрат на паливо, необхідну калориметричну температуру в робочому обсязі високотемпературної зони печі може бути забезпечено під час опалювання її сумішшю, що складається з природного газу та водовугільного палива. За умов методичної печі сортопрокатного стану застосування цього заходу забезпечує економію витрат щодо статті «Технологічне паливо» на 36,7 %.

Бібліографічний список

1. Свитлый, Ю. Г. Технология водоугольного топлива : справочное пособие [Текст] / Ю. Г. Свитлый, А. А. Круть. – Донецк : ООО «Східний видавничий дім», 2011. – 103 с. – Библиогр. : с. 99-102. – ISBN 978-966-317-105-0. – 300 экз.
2. Гречаний, А. Н. О развитии и применении водоугольных технологий в топливно-энергетическом комплексе Украины [Текст] / А. Н. Гречаний, В. В. Литовкин, Ю. Г. Свитлый // Энергетика и электрификация. – 1996. – № 4. – С. 9-12. – Библиогр. : с. 12.
3. Кондратьев, А. С. Транспортирование водоугольных суспензий. Гидродинамика и температурный режим [Текст] / А. С. Кондратьев, В. И. Овсяников, Е. П. Олофинский и др. – М. : Недра, 1988. – 211 с. – Библиогр. : с. 160-161. – ISBN 524-700-313-6. – 300 экз.
4. Круть, А. А. Высокозольные угольные шламы – дополнительный источник энергоносителей [Текст] / А. А. Круть // Збірник наукових праць Донецького національного технічного університету. Серія: Електро-техніка та енергетика. – 2001. – № 21. – С. 34.

5. **Ревун, М. П.** Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки в металлургии [Текст] / М. П. Ревун, Б. Б. Потапов, В. М. Ольшанский, А. В. Бородулин. – Запорожье : ЗГИА. – 2002. – 443 с. – Библиогр. : с. 436–438. – 300 экз. – ISBN 966-701-41-X.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2015 р.
Рецензент, проф. М.В. Губинський

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