

УДК 669.787:621.783.2

Е.В. Гупало, доцент, к.т.н.

А.С. Строменко, аспирант

В.В. Яшний, студент

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КИСЛОРОДА В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧАХ ТРУБОПРОКАТНОГО ЦЕХА

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

Запропоновано методику раціонального розподілу технологічного кисню між споживачами – нагрівальними печами трубопрокатного цеху. Методика дозволяє визначити пріоритетних споживачів для збагачення повітря, що подають на горіння, киснем із забезпеченням максимальної економії палива. На прикладі трубопрокатного цеху показано, що застосування запропонованої методики дозволяє збільшити економію палива до 78 % порівняно з використанням кисню у довільно вибраній нагрівальній печі.

Ключові слова: нагрівальна піч, природний газ, технологічний кисень, методика раціонального розподілу, економія палива

Предложена методика рационального распределения технологического кислорода между потребителями – нагревательными печами трубопрокатного цеха. Методика позволяет определить приоритетных потребителей для обогащения воздуха, подаваемого на горение, кислородом с обеспечением максимальной экономии топлива. На примере трубопрокатного цеха показано, что использование предложенной методики позволяет увеличить экономию топлива до 78 % по сравнению с использованием кислорода в произвольно выбранной нагревательной печи.

Ключевые слова: нагревательная печь, природный газ, технологический кислород, методика рационального распределения, экономия топлива

There is presented a method of distribution of process oxygen surplus among consumers heating furnaces of a tube-rolling mill shop. The method makes it possible to rank fuel consumers according to effective oxygen use and choose the distribution that provides the best fuel saving. It is shown by the example of pipe-rolling shop that the use of the proposed method makes possible increasing fuel saving to 78 % in comparison with the use of oxygen in an arbitrarily chosen heating furnace.

Keywords: heating furnace, natural gas, processing oxygen, method of efficient distribution, fuel saving

Введение. В прокатных цехах заводов с неполным металлургическим циклом для нагрева металла используются нагревательные печи, отапливаемые природным газом. Печи, как правило, имеют высокие показатели энергопотребления, что связано с недостаточно высокой температурой подогрева воздуха, подаваемого на горение топлива, несовершенством режимов нагрева, износом футеровки и другими техническими и организационными недостатками. В последние годы наблюдается значительное снижение спроса на металлургическую продукцию, в том числе и металлопрокат, что обуславливает снижение объемов производства. В результате предприятия переходят на выпуск мелких партий продукции, что сопровождается значительными колебаниями производительности агрегатов и появлением излишков технологического кислорода, которые при отсутствии накопителей, сбрасываются в атмосферу.

В работе [1] показано, что эффективность использования излишков технологического кислорода для обогащения воздуха горения в на-

гревательных устройствах прокатного передела, отапливаемых природным газом, значительно выше, чем в тепловых агрегатах других цехов металлургического предприятия. Обогащение воздуха технологическим кислородом повышает температуру горения и коэффициент использования теплоты топлива (КИТ), а, следовательно, и энергоэффективность нагревательных устройств [2]. Количество кислорода, сбрасываемого в атмосферу, зависит от технологической ситуации на предприятии и часто является мало предсказуемой величиной. Энергоэффективность обогащения воздуха горения кислородом определяется техническим состоянием и условиями работы конкретного нагревательного устройства. Эти два условия определяют приоритетность использования излишков кислорода для конкретных потребителей.

Цель данной работы – рациональное распределение излишков технологического кислорода на примере группы нагревательных устройств трубопрокатного цеха.

Характеристика объекта исследования. В качестве объекта исследования выбрали участок

нагрева металла трубoproкатного цеха производительностью 65 т/ч, оборудованный кольцевой печью для нагрева заготовок перед прошивным прессом (КП № 1), кольцевой печью для промежуточного подогрева стаканов (КП № 2) и пе-

чью с шагающими балками (ПШБ), предназначенной для нагрева труб перед калибровочным станом. Характеристика печей приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика печей

Показатель	КП № 1	КП № 2	ПШБ
Тип печи	противоточная	прямо-противоточная	противоточная
Количество отапливаемых зон, шт	3	2	3
Размеры рабочего пространства:			
- длина, м	56,2	39,2	7,65
- ширина, м	4,9	3,3	13,92
Средний диаметр печи, м	24	12,5	-
Производительность, т/ч	65		
Топливо	природный газ		
Тип горелок	ГНП		
Количество горелок	52	26	16
Расход топлива, м ³ /ч	2400	1700	1500
Тип металлического рекуператора	игольчатый	трубчатый	трубчатый
Температура поверхности металла, °С:			
- при посадке	20	1100...1160	-
- при выдаче	1250...1280	1250...1295	840...1000
Продолжительность нагрева, ч	4...6	0,7...1,0	0,12...0,42
Температура уходящего дыма, °С	900	1200	950
Температура подогрева воздуха, °С	300	300	280
КИТ	0,668	0,505	0,636
Удельный расход топлива, м ³ /т	36,92	26,15	23,08

Методика исследования. Для решения поставленной задачи с использованием методики, приведенной в работе [3], выполнены расчеты горения природного газа, коэффициентов использования теплоты топлива, расходов воздуха и технологического кислорода при сжигании топлива с атмосферным воздухом и воздухом, обогащенным кислородом.

При выполнении расчетов принимали следующие допущения:

- температурный режим печи, температуры уходящих из печи продуктов горения и подогрева воздуха в рекуператоре не изменяются;
- смешивание воздуха с технологическим кислородом осуществляется после подогрева воздуха в рекуператоре;
- химический недожог топлива отсутствует;
- доля кислорода в воздухе изменяется в пределах от 0,21 до 0,5;
- излишки технологического кислорода составляют 2000 м³/ч;
- коэффициент расхода воздуха при сжигании топлива $n = 1,1$;
- температура кислорода – 0 °С.

Экономия топлива от обогащения воздуха горения кислородом определяли по формуле [4]:

$$\Xi = \left(1 - \frac{\eta_1}{\eta_2}\right) \cdot 100\%, \% \quad (1)$$

где η_1 , η_2 – коэффициенты использования теплоты топлива в печи при работе на атмосферном воздухе и при обогащении воздуха горения кислородом, соответственно.

Задачу рационального распределения кислорода между потребителями решали путем ранжирования приоритетов потребления кислорода между печами на основе величины рассчитанного коэффициента эффективности использования кислорода K , представляющего собой отношение удельной экономии топлива (ΔB_{mon} , м³/т) к удельному расходу кислорода (B_{O_2} , м³/т):

$$K = \frac{\Delta B_{mon}}{B_{O_2}} \quad (2)$$

С учетом выражения (1), коэффициент K определяется как

$$K = \frac{0,79 \cdot (\eta_2 - \eta_1)}{\eta_1 \cdot L_n \cdot (k_{O_2} - 0,21)}, \quad (3)$$

где k_{O_2} – доля кислорода в обогащенном воздухе; L_n – действительный расход обогащенного воздуха, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Под рациональным будем понимать такое распределение кислорода между потребителями, при котором приоритет его использования вначале отдается печи с наибольшим значением коэффициента K . При этом учитывают ограничение по максимально-возможному расходу кислорода в данной печи, который не нарушает работу грелочных устройств. По данным работы [5], при использовании диффузионных горелочных устройств данное условие соблюдается при увеличении доли кислорода в воздухе горения до 0,33.

Результаты исследования. На рис. 1 показано изменение коэффициента использования теплоты топлива и экономии топлива при обо-

гащении воздуха горения кислородом для рассматриваемых печей.

Как видно из рис. 1, чем меньше значение коэффициента использования теплоты топлива в печи при работе на атмосферном воздухе, тем больше оно увеличивается при обогащении воздуха кислородом, что обеспечивает большую экономию топлива. Согласно полученным результатам, максимальная экономия топлива может быть обеспечена при использовании кислорода в кольцевой печи № 2, а наименьшая – в кольцевой печи № 1. Значения коэффициента эффективности использования кислорода K составляют: для кольцевой печи № 1 – 0,127; для кольцевой печи № 2 – 0,263; для печи с шагающими балками – 0,151. Таким образом, приоритет использования кислорода имеет кольцевая печь № 2. Именно в этой печи необходимо обеспечить сжигание топлива с максимальным обогащением воздуха. Следующий по приоритету потребитель – печь с шагающими балками. В ней следует использовать остаток технологического кислорода. Последним по приоритету потребителем является кольцевая печь № 1.

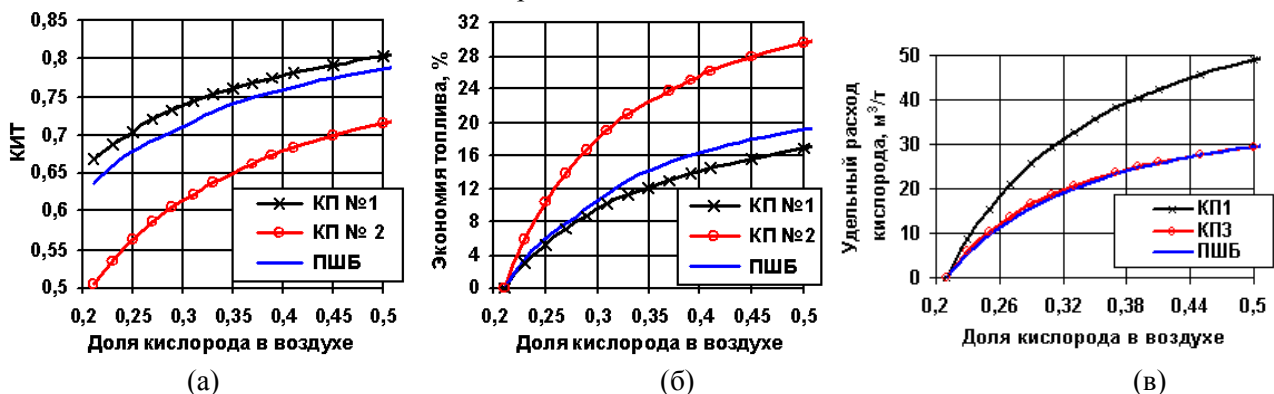


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента использования теплоты топлива (а), экономии топлива (б) и удельного расхода технологического кислорода (в) от содержания кислорода в воздухе горения

Таблица 2 – Эффективность рационального распределения кислорода по потребителям

Показатель	Рациональное распределение кислорода			Применение кислорода в КП № 1
	КП № 2	ПШБ	Сумма	
Коэффициент использования теплоты топлива	0,638	0,681	-	0,747
Доля кислорода в воздухе	0,330	0,253	-	0,318
Экономия топлива, %	20,800	6,600	-	10,6
Экономия топлива, $\text{м}^3/\text{т}$	5,44	1,52	6,96	3,91
Расход технологического кислорода, $\text{м}^3/\text{т}$	20,70	10,07	30,77	30,77
Годовой объем производства, т/год	325000			
Цена природного газа, грн./тыс. м^3	9005,32			
Снижение затрат на топливо, грн./т	48,99	13,69	62,68	35,21
Экономия затрат на топливо, млн. грн./год	15,92	4,45	20,37	11,44

В табл. 2 приведено сравнение рационального распределения кислорода между потребителями с вариантом использования кислорода только в кольцевой печи № 1. В последнем случае потребитель выбран либо произвольно, либо исходя из соображений использования кислорода в печи, обладающей наибольшей тепловой мощностью.

Сопоставление рассмотренных вариантов показывает, что использование ограниченного расхода кислорода в кольцевой печи № 2 и печи с шагающими балками обеспечивает в 1,78 раза большую экономию топлива по сравнению с ва-

риантом использования его только в кольцевой печи № 1.

Выводы. Предложена методика рационального распределения технологического кислорода по потребителям прокатного цеха, позволяющая обеспечить максимальную экономию топлива. На примере распределения кислорода между тремя нагревательными печами, которые характеризуются различной энергоэффективностью, показано, что использование предложенной методики позволяет увеличить экономию топлива на 78 % по сравнению с использованием кислорода в произвольно выбранном тепловом агрегате.

Библиографический список

1. **Гупало, Е. В.** Эффективность использования излишков технологического кислорода для экономии топлива на металлургическом заводе [Текст] / Е. В. Гупало, Д. С. Пономаренко, В. В. Романько // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції : у трьох частинах. – м. Суми, 19-23 квітня 2010 р. – Суми : Вид-во СумДУ, 2010. – Ч. III. – С. 93-94. – Бібліогр.: с. 94.
2. **Карп, И. Н.** Использование кислорода и обогащенного кислородом воздуха в нагревательных печах, колодах, стендах разогрева сталеразливочных ковшей [Текст] / И. Н. Карп, А. Н. Зайвый, Е. П. Марцевой, К. Е. Пьяных // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2012. – № 3. – С. 18-29. – Библиогр.: с. 29.
3. **Губинский, В. И.** Металлургические печи. Теория и расчеты [Текст] / В. И. Губинский, В. И. Тимошпольский, В. М. Ольшанский и др. ; под общ. ред. В. И. Губинского, В. И. Тимошпольского. – В 2-х т. Т. 2. – Минск : Белорусская наука, 2007. – 832 с. – Библиогр.: с. 826-828. – 700 экз. – ISBN 978-985-08-0856-1 (Т. 2), ISBN 978-085-08-0795-3.
4. **Розенгарт, Ю. И.** Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах [Текст] / Ю. И. Розенгарт, Б. Б. Потапов, В. М. Ольшанский, А. В. Бородулин. – Киев : Донецк : – Вища школа. Головное изд-во, 1986. – 296 с. – Библиогр.: с. 287-288. – 2000 экз.
5. **Ревун, М. П.** Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки в металлургии [Текст] / М. П. Ревун, Б. Б. Потапов, В. М. Ольшанский, А. В. Бородулин. – Запорожье : Изд-во ЗГИА, 2002. – 443 с. – Библиогр.: с. 436-438. – 300 экз. – ISBN 966-701-41-X.

Стаття надійшла до редакції 01.04.2016 р.
Рецензент, проф. М.В. Губинський

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