

УДК 621.783.2:621.311.16

А.А. Візер, аспірант

## ЩОДО НЕДОЛІКІВ ТЕПЛОВОЇ РОБОТИ КАМЕРНИХ ПЕЧЕЙ

*Запорізька державна інженерна академія*

Приведены результаты теплотехнических испытаний и выполнена оценка составляющих теплового баланса камерной печи ООО «Запорожский титано-магний комбинат». Определено, что основную часть потерь составляет теплота, которую теряют с отходящими продуктами горения. Как следствие, это приводит к значительному снижению энергоэффективности печи, поэтому дальнейшие исследования в данном направлении являются целесообразными.

Ключевые слова: камерная печь, энергоэффективность, тепловой баланс, пространственное электрическое поле

Наведено результати теплотехнічних випробувань та виконано оцінку складових теплового балансу камерної печі ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат». Встановлено, що головну частину втрат складає теплота, яку втрачають з відхідними продуктами горіння. Як наслідок, це призводить до значного зниження енергоефективності печі, тому подальші дослідження у даному напрямку є доцільними. Ключові слова: камерна піч, енергоефективність, тепловий баланс, просторове електричне поле

The results of heat engineering tests was shown and the estimate of the heat balance of the chamber furnace of LTD «Zaporozhye titanium-nagesium combine» was carried out. It was determined that the main part of losses quantities to heat that is lost with the combustion products. As a consequence, this leads to a significant reduction in the energy efficiency of the furnace, that's why further investigations in this direction is appropriate.

Keywords: chamber furnace, energy efficiency, heat balance, spatial electric field

*Вступ.* Сучасні економічні умови ставлять енергосне промислове виробництво України у жорсткі рамки. За стрімким зростанням вартості енергетичних ресурсів та світової тенденції забезпечення енергоносіями у необхідному обсязі пріоритетним завданням для керівників промислових підприємств є впровадження прогресивних ресурсозберігаючих енергоефективних технологій та технічних засобів у виробництво. Для української економіки таке завдання є особливо актуальним, оскільки держава забезпечує свої енергетичні потреби власними ресурсами лише на 53 % [1].

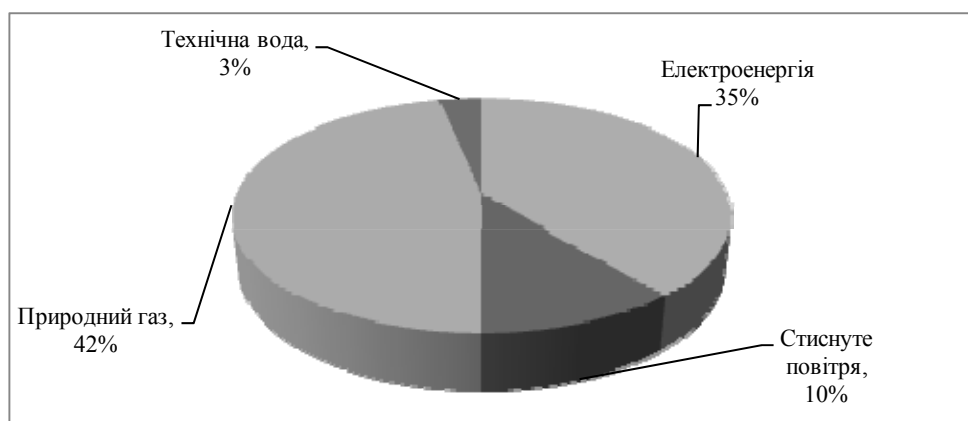
*Стан питання.* Найбільше споживання палива у чорній і кольорової металургії припадає на нагрівальні та термічні печі. Аналіз структури собівартості кінцевої продукції металургійного підприємства показує, що значну її частину складають витрати на паливно-енергетичні ресурси. Як приклад на рис. 1 подано зазначені витрати на ТОВ «Запорізький титано-магнієвий комбінат» (ТОВ «ЗТМК») для виготовлення однієї тонни відливок.

Для нагрівання й термічної обробки відливок у металургії та машинобудуванні головними нагрівальними агрегатами є камерні печі [2,3], які мають низку суттєвих недоліків, зокрема недосконалість конструкції та значні втрати теплоти [4]. Як наслідок, це призводить до перевит-

рати паливно-енергетичних ресурсів і збільшення собівартості кінцевої продукції. Оскільки у перспективі не слід очікувати зменшення кількості зазначених печей у вітчизняній практиці, інноваційні напрацювання щодо підвищення теплової ефективності зазначених агрегатів набувають першочергового значення.

Питанню удосконалення теплової роботи печей та підвищенню енергоефективності технологій нагрівання й термічної обробки металу присвячено багато наукових публікацій та технічних вирішень. Останні засновані на удосконаленні системи та режимів опалення, палинкових пристроїв, конструктивних особливостей печей, систем автоматичної оптимізації процесу спалювання палива тощо [4-6].

На думку багатьох авторів [7,8] головною причиною перевитрати енергетичних ресурсів є недостатня утилізація теплоти відхідних газів. Проте питання більш ефективного використання теплоти у межах робочого обсягу печі, концентрування її у місцях розташування заготовок та зниження за рахунок цього витрати природного газу на нагрівання металу не приділено значної уваги, тому потрібно продовжувати дослідження у даному напрямку.



**Рисунок 1** – Структура розподілу енергоносіїв, необхідних для виготовлення однієї тонни відливок на ТОВ «ЗТМК»

*Виклад основного матеріалу.* У ливарному цеху ТОВ «ЗТМК» для термічної обробки відливок використовують камерну піч з висувним подом, яку опалюють природним газом за допомогою чотирьох інжекційних пальників. Для виявлення причин низької енергоефективності зазначеного теплового агрегату, визначення головних статей втрат теплоти з робочого обсягу та шляхів їх усунення складено тепловий баланс печі, де враховані такі його складові [9,10]:

$$Q_{пр.г} + Q_{ф.п} + Q_{екз} = Q_m + Q_{ак}^{кл} + Q_{кл} + Q_{т.п} + Q_{н.г} + Q_{невр}, \quad (1)$$

де  $Q_{пр.г}$  – хімічна теплота природного газу, кДж/год.;  $Q_{ф.п}$  – теплота, яку вносить повітря, кДж/год.;  $Q_{екз}$  – теплота екзотермічних реакцій окислення металу, кДж/год.;  $Q_m$  – витрати теплоти на нагрівання металу, кДж/год.;  $Q_{ак}^{кл}$  – теплота, що акумульована кладкою камерної печі, кДж/год.;  $Q_{кл}$  – втрати теплоти теплопровідністю через кладку печі, кДж/год.;  $Q_{т.п}$  – втрати теплоти на нагрівання транспортуючих пристроїв, кДж/год.;  $Q_{н.г}$  – теплота, яку втрачають з відхідними газами, кДж/год.;  $Q_{невр}$  – невраховані теплові втрати, кДж/год.

Вихідні дані для складання теплового балансу печі наведено у табл. 1.

Результати складання теплового балансу печі наведено у табл. 2.

З табл. 2 випливає, що головну частину втрат теплової енергії у робочій зоні печі складає теплота, яку втрачають з відхідними газами (37,7 %). Тому пошуки шляхів вирішення більш

ефективного використання теплової енергії за рахунок зменшення зазначеної статті витрат спричиняють дослідницький та практичний інтерес.

Відомо, що впливати на рух теплових потоків у печі можливо за рахунок змінювання положення пальників і відхідних каналів, що покращує її аеродинаміку [11]. Але розмістити великі металеві заготовки у зоні, на яку припадає найбільша частина загальної теплової енергії є технічно складним завданням, а здійснювати перерозподіл теплоти аеродинамікою у даному разі є проблематичним. На ТОВ «ЗТМК» для вищезгаданої печі розглядали застосування пристроїв регенеративного або рекуперативного типу, що дає можливість у деякій мірі використовувати теплоту відхідних газів для підігрівання повітря, яке йде на пальники та для підігрівання самого палива [12,13]. Проте за умови дефіциту капітальних вкладень оптимізація теплової роботи печей за рахунок зазначених заходів виявляється економічно не доцільною.

Аналіз результатів досліджень, попередньо виконаних на експериментальній нагрівальній установці, показав, що вплив електричного поля на формування напрямку переміщення продуктів горіння палива є незаперечним [14,15], а за діючими на цей час тарифами на енергетичні ресурси застосування зазначеного методу для камерної печі відпалювання сприятиме більш ефективному використанню природного газу та дозволить одержати значну грошову економію [16].

Таблиця 1 – Зведена відомість теплотехнічних випробувань печі

Параметр	Значення
Нижча теплота згоряння природного газу, кДж/м <sup>3</sup>	8091
Витрата природного газу, м <sup>3</sup> /год.	81,62
Температура повітря на спалювання, °С	40
Теоретично необхідна кількість повітря на спалювання 1,0 м <sup>3</sup> газу, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	9,64
Теплоємність повітря, кДж/(м <sup>3</sup> ·°С)	1,30
Продуктивність печі, кг/год.	910
Вигар металу, кг/кг	0,02
Теплоємність металу, кДж/(кг·°С)	0,67
Початкова температура металу, °С	25
Кінцева температура металу, °С	925
Об'єм кладки, м <sup>3</sup>	11,67
Середня щільність вогнетриву, кг/м <sup>3</sup>	1900
Середня теплоємність кладки, кДж/(кг·°С)	0,93
Середня температура шару шамоту, °С	450
Площа бокових поверхонь, м <sup>2</sup>	23,78
Площа передньої та задньої поверхні, м <sup>2</sup>	22,34
Площа склепіння, м <sup>2</sup>	15,79
Питомий тепловий потік бокових поверхонь, кДж/(м <sup>2</sup> ·год.)	8725
Питомий тепловий потік передньої та задньої поверхні, кДж/(м <sup>2</sup> ·год.)	3558
Питомий тепловий потік склепіння, кДж/(м <sup>2</sup> ·год.)	5819
Маса транспортуючих пристроїв, кг/год.	186
Середня теплоємність транспортуючих пристроїв, кДж/(кг·°С)	0,71
Температура транспортуючих пристроїв °С	
- початкова	25
- кінцева	700
Об'єм відхідних газів, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	24,25
Середня теплоємність відхідних газів, кДж/(м <sup>3</sup> ·°С)	1,42
Температура відхідних газів, °С	397

Таблиця 2 – Тепловий баланс камерної печі відпалювання

Статті приходу теплоти	Величина,		Статті витрати теплоти	Величина,	
	кДж/год.	%		кДж/год.	%
Хімічна теплота палива	2764776	93,21	Витрати теплоти на нагрівання металу	548612	18,51
Теплота, що вносить повітря	98431	3,32	Теплота, що акумульована кладкою печі	665476	22,43
Теплота екзотермічних реакцій	102865	3,47	Витрати теплоти теплопровідністю через кладку печі	236200	7,96
			Втрати на нагрівання транспортуючих пристроїв	89360	3,01
			Теплота, що витрачають з відхідними газами	1118504	37,71
			Невраховані теплові втрати	307920	10,38
Разом	2966072	100,0	Разом	2966072	100,0

Впровадження запропонованого способу не є технічно складним завданням, але приклади його застосування на реальному промисловому підприємстві доки ще відсутні. Зважаючи на значні втрати теплоти з відхідними газами, доцільним є застосування зазначеного способу на діючій печі за умови ТОВ «ЗТМК» для спрямування теплового потоку у місце розташування деталей зазначеним чином.

*Висновок.* За результатами складання теплового балансу камерної печі відпалювання ТОВ «ЗТМК» визначено головні статті витрати теплової енергії, де найбільшу частину втрат складає теплота, яку втрачають з відхідними газами. Задля більш ефективного використання теплової енергії у робочому обсязі печі запропоновано впровадження методу управління тепловими потоками за допомогою просторового електричного поля.

### Бібліографічний список

1. **Бирюков, А. Б.** Энергоэффективность и качество тепловой обработки материалов в печах [Текст] : монография / А. Б. Бирюков. – Донецк : Ноулидж, 2012. – 247 с. – Библиогр.: с. 240-247. – 300 экз. – ISBN 978-617-579-372-5.
2. **Аверин, С. И.** Расчеты нагревательных печей [Текст] / С. И. Аверин, Э. М. Гольдфарб, А. Ф. Кравцов и др. – Киев : Техника, 1969. – 540с. – Библиогр.: с.535-536. – 7000 экз.
3. **Губинский, В. И.** Нагревательные печи металлургии – сегодня и завтра [Текст] / В. И. Губинский // Теория и практика металлургии. – 2004. – № 6 (20). – С. 56-60. – Библиогр.: с. 59-60.
4. **Пилипенко, Р. А.** Интенсификация тепловой работы камерных печей, отопляемых природным газом [Текст] / Р. А. Пилипенко // Металлургическая теплотехника : сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск : НМетАУ, 2002. – Т. 8. – С. 99-105.
5. **Ревун М.П.** Интенсификация работы нагревательных печей [Текст] / М. П. Ревун, В. И. Гранковський, А. Н. Байбуз. – Киев : Техніка, 1987. – 136 с. – Библиогр.: с. 135. – 150 экз.
6. **Барішенко, О. М.** Актуальні енергозберігаючі методи роботи нагрівальних печей [Текст] : монографія / О. М. Барішенко, М. П. Ревун. – Запоріжжя : ЗДІА, 2012. – 138 с. – Бібліогр.: с. 136-138. – 300 прим. – ISBN 978-617-579-372-5.
7. **Сазонов, Э. В.** Утилизация теплоты и очистка газовых выбросов: монография [Текст] / Э. В. Сазонов, В. Н. Семенов. – Воронеж : ВГАСУ, 2010. – 142 с. – Библиогр.: с. 141-142. – 500 экз. – ISBN 978-5-89040-306-3.
8. **Фиалко, Н. М.** Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа [Текст] / Н. М. Фиалко, Ю. В. Шеренковский, А. И. Степанова и др. // Промышленная теплотехника. – 2008. – № 3. – С. 68-76. – Библиогр.: с. 76-78.
9. **Мастрюков, Б. С.** Теплотехнические расчеты промышленных печей [Текст] / Б. С. Мастрюков. – М. : Металлургия, 1972. – 368 с. – Библиогр.: с. 368. – 11000 экз.
10. **Тымчак, В. М.** Расчет нагревательных и термических печей [Текст] / В. М. Тымчак, В. Л. Гусовский. – М. : Металлургия, 1983. – 480 с. – Библиогр.: с. 474-477. – 10000 экз.
11. **Качан, Ю. Г.** О повышении энергоэффективности камерных нагревательных печей с выкатным подом путем изменения положения горелочных устройств [Текст] / Ю.Г. Качан, В.В. Степкин, Ю.Б. Лиуш // Теория и практика металлургии: – 2012. – №5-6 (88-89). – С. 87-91. – Библиогр.: с. 91.
12. **Тебеньков, Б. П.** Рекуператоры промышленных печей [Текст] / Б. П. Тебеньков. – М. : Металлургия, 1975. – 294 с. – Библиогр.: с. 286-290. – 4000 экз.
13. **Рабинович, Г. Д.** Теория теплового расчета рекуперативных теплообменных аппаратов [Текст] / Г. Д. Рабинович. – Минск : АН БССР, 1963. – 137 с. – Библиогр.: с. 136 – 700 экз.
14. **Качан, Ю. Г.** Щодо можливості керування тепловими потоками просторовим електричним полем [Текст] / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко, А. А. Візер // Металлургическая теплотехника : сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск : Новая идеология, 2013. – Вып. 13. – С. 80-84. – Библиогр.: с.84.
15. **Качан, Ю. Г.** Моделювання температурного режиму газової нагрівальної печі за наявності просторового електричного поля [Текст] / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко, А. А. Візер // Энергетика: економіка, технології, екологія. – Київ : НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2014. – Вип. 2 (36). – С. 30-34. – Библиогр.: с.33-34.
16. **Качан, Ю. Г.** Кількісна оцінка ефективності газової нагрівальної установки за умови створення в її камері просторового електричного поля [Текст] / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко, А. А. Візер // Энергетика: економіка, технології, екологія. – Київ : НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2014. – Вип. 4 (38). – С. 14-17. – Библиогр.: с.17.