

2. Элементы теории систем и численные методы моделирования процессов тепломассопереноса / В. С. Швыдкий, Н. А. Спирин, М. Г. Ладыгичев и др. – М.: Интермет Инжиниринг, 1999. – 520 с.

3. Био М. Вариационные принципы в теории теплообмена. Перевод с англ. – М.: Энергия, 1975. – 208 с.

УДК 669-5

С. А. Дианов

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ ДОМЕННОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ

Аннотация

Рассмотрены основные конструктивные решения доменных воздухонагревателей. Описаны методы расчета конструкции насадки доменных воздухонагревателей. Выполнена аппроксимация табличных зависимостей, встречающихся в литературе. Создан программный продукт, позволяющий автоматизировать процесс расчета. Кратко рассмотрены функциональные возможности программного продукта.

Ключевые слова: доменный воздухонагреватель, программное обеспечение, расчет, нагрев дутья, насадка, аппроксимация.

Abstract

The basic designs of hot-air stoves for blast furnaces are explored. There is describes the methods of calculation of the nozzle design hot-air stoves. Performed approximation of table dependencies found in the literature. There are created software to automate the calculation process. Functionality of the software is briefly describes.

Keywords: blast furnace, software, calculation os heat BV, nozzle, approximation.

Нагрев дутья – важный технологический процесс, позволяющий использовать такой вторичный энергетический ресурс, как доменный газ. Доменный газ, как известно, является одним из продуктов доменного процесса, который состоит на 12–20 % из CO_2 , 20–30 % CO , до 0,5 % CH_4 , 1–4 % H_2 , 55–58 % N_2 [1]. Такой газ является не самым калорийным топливом, но декларация по окружающей среде и развитию [2] предписывает максимальное использование любых ВЭР. Поэтому доменный газ повсеместно используется как топливо, служащее для нагрева доменного дутья. Первые попытки нагрева дутья были проведены еще в конце XIX века; тогда воздух был подогрет до 300 °С, что позволило значительно сократить расход кокса. В настоящее время существуют технологии, позволяющие нагреть дутье до 1400 °С. Нагрев дутья осуществляется в теплообменных аппаратах регенеративного типа. Полный рабочий период регенеративных воздухонагревателей состоит из цикла нагрева насадки, когда продукты горения проходят через отверстия в насадке и отдают ей тепло, и цикла нагрева

дутья, когда через насадку проходит нагреваемое дутье. Существует несколько типовых конструкций доменных воздухонагревателей.

Основным типом существующих в мире доменных воздухонагревателей является воздухонагреватель с внутренней камерой горения (рис. 1), где в одном кожухе располагаются параллельно камера насадки и камера горения. Эта конструкция предложена английским инженером и изобретателем Э.А. Каупером более 150 лет назад [3], и ее длительная эксплуатация выявила ряд существенных недостатков: разрушение стенки между камерой горения и камерой насадки; наклон камеры горения в сторону насадки; высокотемпературная ползучесть огнеупоров под действием высоких температур и давлений, что приводит к разрушению кладки; неравномерное распределение продуктов сгорания по насадке; пульсирующее горение, приводящее к сильной вибрации конструкции. Эти недостатки приводят к частому выходу из строя камеры горения.

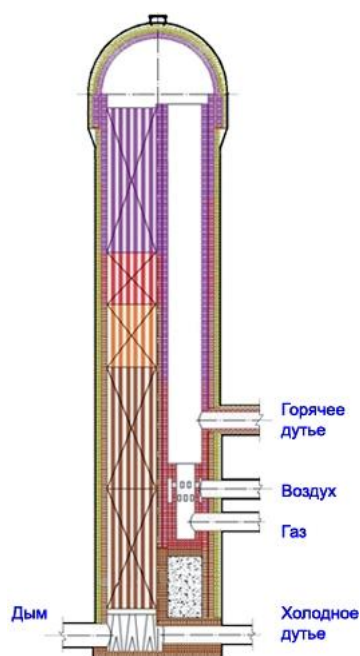


Рис. 1. Воздухонагреватель с внутренней камерой горения

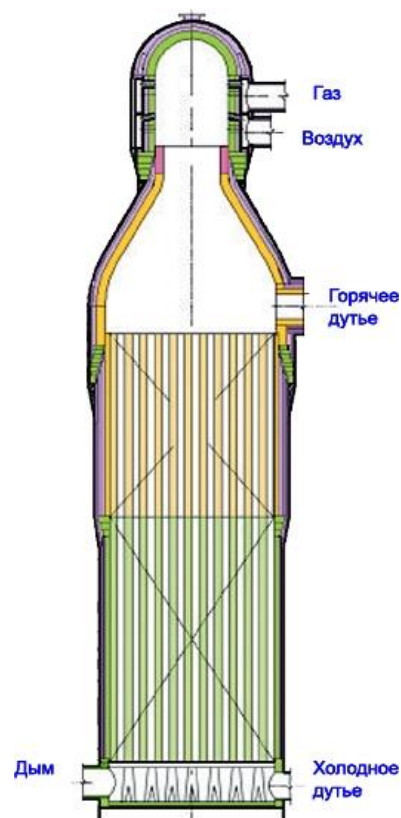


Рис. 2. Воздухонагреватель Калугина

Следующим шагом нагрева доменного дутья стали воздухонагреватели с выносной камерой горения. Эти воздухонагреватели имеют значительно более сложный купол и сложную систему компенсации температурных расширений кожухов камеры насадки и камеры горения. Поэтому их стоимость на 30–35 % выше, а для их размещения требуется гораздо больше места [3], что вызывает затруднения при реконструкции в действующих цехах. Тем не менее эти аппараты имеют более надежную конструкцию и устраняют два недостатка воздухонагревателей с внутренней камерой горения: заменить выносную камеру гораздо легче, чем внутреннюю, и замена требуется гораздо реже из-за того, что исключен наклон камеры горения.

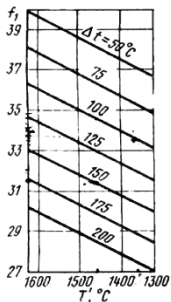
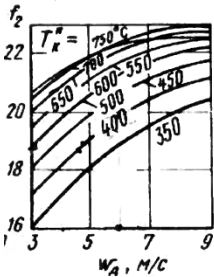
Дальнейшим этапом стал бесшахтный воздухонагреватель конструкции Калугина (ВНК) с форкамерой на верху купола (рис. 2). Газ сжигается в горелочном устройстве форкамерного типа со струйно-вихревой подачей газа и воздуха, расположенном сверху купола по оси воздухонагревателя. Кольцевые коллекторы газа и воздуха размещаются внутри кладки форкамеры, а сама кладка форкамеры ВНК имеет независимую опору на кожух. Впервые такая схема была реализована на доменной печи №1 Саткинского чугуноплавильного завода в 1992 г., и этот воздухонагреватель без проблем работает до настоящего времени.

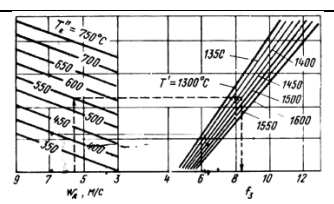
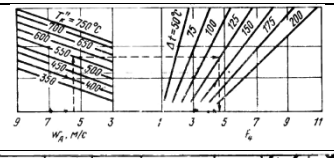
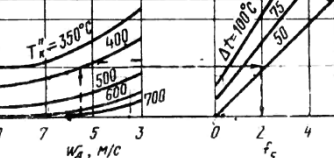
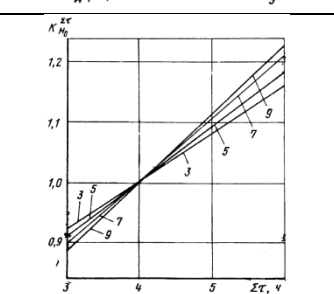
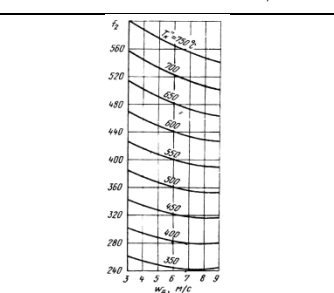
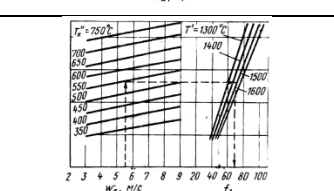
При проектировании воздухонагревателя специалистами последовательно выполняется:

- 1) общий теплотехнический расчет блока воздухонагревателей;
- 2) расчет насадки;
- 3) расчет форкамеры с определением количества сопел, их размеров и расположения, скорости газа и воздуха и степени закрутки потоков;
- 4) расчет футеровки с определением количества, толщин и температур слоев различных огнеупорных материалов;
- 5) прочностной расчет кожуха;
- 6) прочностной расчет поднасадочного устройства;
- 7) компоновка блока ВНК с трубопроводами и оборудованием;
- 8) гидравлический расчет воздухонагревателя и системы трубопроводов с определением их диаметров и требуемых давлений сред;
- 9) определение характеристик оборудования и составление его перечня (предварительной спецификации).

В работе выполнена автоматизация этапа № 2: создана программа, выполняющая расчет параметров насадки по требуемым параметрам дутья. Алгоритм расчета заимствован из книги [1] с некоторыми модификациями: некоторые промежуточные параметры, согласно методике, определяются по номограммам. Для реализации автоматизированного расчета выполнена аппроксимация этих номограмм. Результаты аппроксимации представлены в таблице.

Формулы, не рассмотренные в книге [1]

Параметр	Номограмма	Формула
1	2	3
f_1		$f_1 = 0,01 \cdot T' - 0,06 \cdot \Delta t + 26$
f_2		$f_2 = 0,001368 \cdot t''_k \cdot w_d - 0,068 \cdot w_d^2 +$ $+ 2,013 \cdot w_d - 3,33 + 0,058 \cdot t''_k - 0,00003959 \cdot t''_k^2$

1	2	3
f_3		$f_3 = (0,019 \cdot t''_k + 0,361 \cdot w_d + 8,429) \cdot 0,713 + 0,005667 \cdot T' - 14,517$
f_4		$f_4 = 1,223 \cdot (0,167 \cdot w_d + 0,004698 \cdot t''_k - 1,659) + 0,037 \cdot \Delta t - 2,125$
f_5		$f_5 = 1,733 \cdot (-0,029 \cdot t''_k + 10,635 - 0,529 \cdot w_d + 0,017 \cdot w_d^2 + 0,0004133) - 0,036 \cdot \Delta t + 2,2$
$K_{H_0}^{\Sigma \tau}$		$K_{H_0}^{\Sigma \tau} = 0,005982 \cdot \Sigma \tau \cdot w_d + 0,0005208 \cdot w_d^2 - 0,031 \cdot w_d + 0,767 + 0,071 \cdot \Sigma \tau - 0,00162 \cdot \Sigma \tau^2$
f_2 (дым)		$f_2 = -0,018 \cdot w_d \cdot t''_k + 0,0002322 \cdot t''_k^2 + 0,662 \cdot t''_k + 18,584 - 3,575 \cdot w_d + 0,729 \cdot w_d^2$
f_3 (дым)		$f_3 = 15,167 \cdot (0,1 \cdot w_d + 0,007432 \cdot t''_k - 2,007) + 0,062 \cdot T' - 62$

Программная реализация расчета выполнена на языке C# с использованием технологии WPF. Пользовательский интерфейс состоит из главного окна, в верхней части которого описана физическая постановка задачи. Основная часть состоит из дерева элементов, в котором входные, промежуточные и выходные данные объединены в группы «Параметры дутья», «Параметры насадки», «Промежуточные расчеты», «Решение». Входными данными являются характеристики дутья, которые должен обеспечить проектируемый воздухонагреватель, решением является высота насадки. Программа поддерживает контроль ввода на соответствие входного параметра определенному диапазону и на то, является ли введенное значение числом. В случае если параметр введен неверно, поле ввода подсвечивается красным и показывается всплывающая подсказка, поясняющая ошибку. При корректном вводе параметров автоматически осуществляется пересчет.

Программа поддерживает многоязычность. Выбор языка осуществляется с помощью выпадающего списка на панели управления. В настоящее время поддерживаются русский и английский языки и частично украинский.

На панели управления есть и другие кнопки. Кнопка «Отчет» генерирует отчет по выполненному расчету, который можно экспортировать в популярные форматы и распечатать. С помощью кнопки «Настройки» можно настроить диапазон каждого входного параметра, единицу измерения, необходимость вывода в отчет. С помощью кнопки «Диаграммы» можно отобразить некоторые зависимости, например, зависимость «Температура купола – Высота насадки», «Требуемый расход воздуха – Скорость дутья в насадке», «Максимальная температура дыма – Высота насадки» и другие зависимости. При расчете данных диаграмм все входные параметры, не относящиеся к графику, принимаются константами.

Существует возможность нарисовать воздухонагреватель с заданной высотой насадки. Это делается с помощью кнопки «Нарисовать воздухонагреватель». С помощью кнопок «Сохранить» и «Сохранить как» можно выполнить сохранение текущего сеанса работы с возможностью последующей загрузки. С помощью кнопок «Справка» и «О программе» можно ознакомиться с возможностями программы.

С помощью полученного программного продукта были проанализированы некоторые аспекты тепловой работы воздухонагревателя. Например, увеличение требуемой температуры дутья вынуждает использовать более высокую насадку, а зависимость высоты насадки от максимальной температуры дыма близка к параболической.

Список использованных источников

1. Шкляр Ф. Р., Малкин В. М., Каштанова С. П., Калугин Я. П., Советкин В. Л. Доменные воздухонагреватели. Конструкции, теория, режимы работы. – М: Металлургия, 1982.
2. Доклад конференции Организации Объединенных наций по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, 3–14 июня 1992 года.
3. Доменные воздухонагреватели. ЗАО «Калугин» [электронный ресурс] – kalugin.biz.