

ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕЧИ

Многие промышленные печи имеют небольшой коэффициент теплоиспользования, особенно предназначенные для высокотемпературной обработки материалов, который составляет 15-35%. За счет утилизации теплоты уходящих в атмосферу дымовых газов может быть достигнута значительная экономия топлива и энергии.

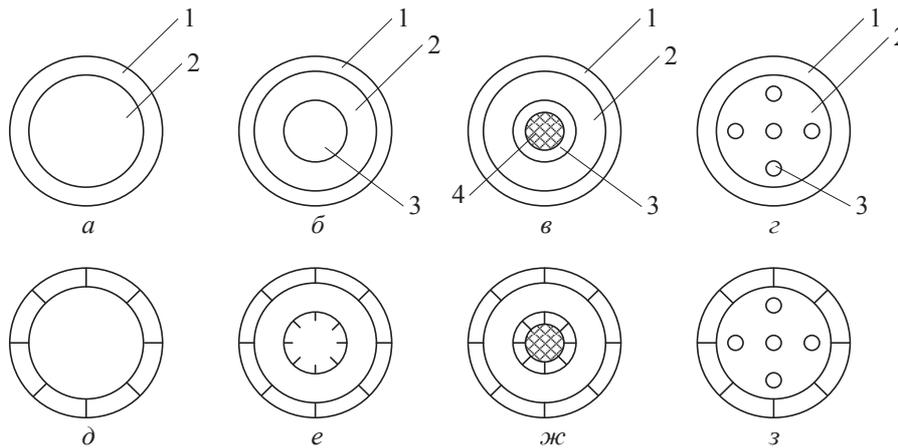
Одним из направлений повышения КПД топливных теплотехнических установок является подогрев воздуха уходящими дымовыми газами. Подогретый воздух может возвращаться в топочное устройство, что повышает КПД установки и экономит 15-25% используемого топлива. Подогретый воздух также используется в качестве теплоносителя в технологических процессах и для теплоснабжения производственных зданий и хозяйственных построек. Теплый воздух можно применять в энергобиологическом комплексе для подогрева грунта и шатра теплиц.

Перенос теплоты от высокотемпературных дымовых газов к воздуху осуществляется в виде сложного лучисто-конвективного теплообмена. Лучистая составляющая дымовых газов определяется через результирующую плотность теплового потока и зависит от степени черноты и поглощательной способности дымовых газов. Наибольший вклад в излучение в промышленном диапазоне температур вносят трехатомные молекулы водяного пара и углекислого газа. Степень черноты и поглощательная способность продуктов сгорания определяются по данным работ [1, 2]. Воздух считается диатермической средой. Конвективная составляющая рассчитывается традиционным методом с использованием уравнений подобия для определения коэффициентов теплоотдачи, как со стороны дымовых газов, так и со стороны нагреваемого воздуха. Физические свойства воздуха и дымовых газов среднего химического состава брались из работы [3].

С помощью разработанной математической модели был проведен вычислительный эксперимент с целью отыскания оптимальной конструкции и параметров утилизатора тепла дымовых газов. Базовым утилизатором является модуль длиной 2,1 м и диаметром 0,9 м, в который поступают уходящие продукты сгорания природного газа при температуре 1000°C с массовым расходом 0,86 кг/с. Массовый расход воздуха составляет 1 кг/с. Расчетная температура окружающей среды принята для теплого периода года равной 21,4°C.

Рассмотрим ряд альтернативных конструктивных схем высокотемпературных воздухоподогревателей с гладкими a - z или оребренными d - z поверхностями теплообмена, которые показаны на рисунке. Высота ребер

в кольцевом канале равна ширине щели между концентрическими окружностями. Схема движения теплоносителей - противоточная. Наружная цилиндрическая поверхность газохода теплоизолированная. Особенностью схем б-г и е-з является наличие двух отдельных потоков нагреваемого воздуха. Для увеличения степени черноты поверхности теплообмена она подвергается механической обработке и окисляется. В этом случае средняя степень черноты равна 0,79 при температуре поверхности 500-1100 К [2].



1,3 – каналы для воздуха; 2 – уходящие продукты сгорания; 4 – вытеснитель

Рисунок – Схемы конструкций воздухоподогревателей с гладкими (а-г) и оребренными (д-з) каналами

Результаты вычислительного эксперимента приведены в таблице.

Таблица – Оптимальные параметры воздухоподогревателей дымовых газов

Номер схемы аппарата	Q/Q_a	d_{er} , мм	d_{eo} , мм	d_{ei} , мм	h_o , мм	t_o , мм	h_i , мм	t_i , мм
<i>a</i>	1,00	900	18,8	–	–	–	–	–
<i>б</i>	0,70	700**	25,0	190	–	–	–	–
<i>в</i>	1,18	300*	10,0*	20*	–	–	–	–
<i>г</i>	1,64	300	10,0*	18**	–	–	–	–
<i>д</i>	1,03	900	18,8	–	9,4	20	–	–
<i>е</i>	1,00	300*	10,0*	590	5,0**	20**	20**	5
<i>ж</i>	1,23	300*	10,0*	20*	5,0*	20*	10*	20*
<i>з</i>	1,72	300	10,0*	18**	5,0	20*	3	3

*Параметр находится на нижней границе области допустимых значений.
**Параметр находится на верхней границе области допустимых значений.

Тепловой поток утилизатора представлен в безразмерной форме (Q/Q_a) в виде отношения действительного теплового потока к тепловому потоку базового утилизатора *a* [4]. В качестве эквивалентного диаметра для труб принимается внутренний диаметр d_{er} , для внешних и внутренних кольцевых каналов – удвоенная ширина зазора d_{eo} и d_{ei}

соответственно. Во всех случаях утилизаторы тепла $d-z$ с оребренными поверхностями теплообмена со стороны воздуха имеют лучшие показатели по сравнению с однотипными гладкими $a-g$. Это объясняется тем, что составляющая радиационно-конвективного теплообмена со стороны дымовых газов выше, чем конвективная со стороны воздуха. Низкую тепловую эффективность по сравнению с прототипом a имеют схемы утилизаторов b и e . Это связано с тем, что в этих конструкциях в излучающем газе эффективная длина луча уменьшается, и доля составляющей теплообмена излучением падает. Схема e становится равноценной схеме a за счет применения оребрения.

Наилучшие показатели имеют утилизаторы z и z с пучком из 80 труб внутри пространства дымовых газов. Эти аппараты на 64 и 72% превосходят прототип a по тепловой эффективности. Следующими по своей эффективности стоят схемы v и $ж$, которые превосходят прототип приблизительно на 20%. Схема z была взята за основу при разработке реального аппарата.

В зависимости от области использования подогретого воздуха, его требуемая температура может изменяться в широком диапазоне. Для унификации предлагается использовать модульную схему воздухоподогревателя, которая набирается из последовательно устанавливаемых секций с отдельным входом холодного воздуха. С ростом числа модулей на выходе температура дымовых газов снижается, что приводит к росту энергоэффективности печи. С учетом направления использования теплоносителя воздуха монтируется требуемое число модулей воздухоподогревателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Дж. Хауэлл. – М.: Мир, 1975.
2. Блох, А.Г. Теплообмен излучением: Справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. М.: Энергия, 1991.
3. Тепловой расчет котлов. СПб.: ВТИ-ЦКТИ, 1998.
4. Петровская, Т.С., Технология стекла / В.И. Верещагин, Т.С. Петровская, А.А. Дитц. Томск: Изд-во ТПУ, 2010.