

2. Деклу, Ж. Метод конечных элементов: пер. с франц. / Ж. Деклу. – М.: Мир, 1976. – 96 с.

3. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация: пер. с англ. / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986. – 318 с.

4. Трусова, И.А. Математическое моделирование процессов радиационно-конвективного теплообмена при нагреве стальных заготовок в методических проходных печах / И.А. Трусова, Д.В. Менделев, П.Э. Ратников // Литье и металлургия. – 2010. – № 3 (Спецвыпуск). – С. 169–172.

5. Трусова, И.А. Математическое моделирование теплообменных процессов в топливных нагревательных печах камерного типа / И.А. Трусова, П.Э. Ратников // Литье и металлургия. – 2010. – № 4. – С. 194–198.

6. Трусова, И.А. Математическое моделирование и оптимизация способов нагрева заготовок в камерных печах / И.А. Трусова, П.Э. Ратников, Д.В. Менделев // Литье и металлургия. – 2010. – № 4. – С. 190–194.

УДК 669.04

С.В. КОРНЕЕВ, канд. техн. наук (БНТУ)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ СИСТЕМ ДЫМОУДАЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ КОНВЕЙЕРНОГО ТИПА

Термическая обработка окончательно формирует комплекс физико-механических свойств, который определяет эксплуатационные характеристики изделий. В связи с этим при проектировании новых печей, при реконструкции и эксплуатации действующих возникает важная задача оптимизации их конструкций и тепловых режимов с целью создания условий для обеспечения всех требований технологического режима при экономии топливно-энергетических ресурсов.

Процесс нагрева заготовок в топливных печах, работающих на газообразном топливе, определяется передачей теплоты от грею-

щих газов к нагреваемой заготовке. Это количество теплоты в топливной печи определяется двумя составляющими: конвективной и радиационной. Конвективная составляющая теплообмена зависит от скорости, с которой греющие газы «омывают» нагреваемую заготовку. Поэтому важную роль в интенсификации нагрева заготовок в топливной печи играет организация движения греющей среды в рабочем пространстве, при этом существенное влияние оказывают форма и размеры нагреваемых заготовок, их расположение в рабочем пространстве, расположение топливосжигающих устройств и системы отвода продуктов сгорания. Другими словами, если печь изначально спроектирована для нагрева заготовок какой-либо формы и размеров, то она не будет также эффективно работать, если в ней нагревать заготовки другой формы и размеров, так как изменится движение греющей среды в рабочем пространстве в неблагоприятную сторону. Все это приведет к увеличению расхода топлива и снижению производительности печи.

Увеличение производительности конвейерного агрегата приводит к снижению удельного расхода природного газа и, следовательно, затрат, определяющих себестоимость продукции. Вместе с тем, оптимальная производительность достигается при оптимальной организации производственного процесса, а дальнейшее повышение производительности возможно за счет интенсификации теплообменных процессов, происходящих в печи.

Анализ условий работы закалочно-отпускных агрегатов конвейерного типа показал, что большинство заготовок, нагреваемых в печах, являются термически тонкими телами, поэтому температурный режим выбирается таким образом, чтобы температуры по зонам печи были практически одинаковы. Печная атмосфера при этом окислительная.

Для повышения эффективности работы закалочно-отпускного агрегата возможно применение различных принципов, которые относятся к совершенствованию теплообменных процессов. Несмотря на то, что при температурах по зонам печи на уровне 850–1000 °С теплообмен в печи осуществляется преимущественно излучением, гидравлический режим работы печи имеет большое значение, так как его оптимизация приводит к минимизации тепловых потерь,

связанных с подсосами воздуха или выбиванием продуктов сгорания.

Рассмотрим варианты расположения системы дымоудаления для закалочного-отпускных агрегатов ОАО «БЕЛКАРД»

На рисунке 1 приведена конструкция газопламенной печи конвейерного типа, в которой дымоудаление осуществляется в зоне загрузки, а дымовые газы поступают непосредственно в рекуператор [1].

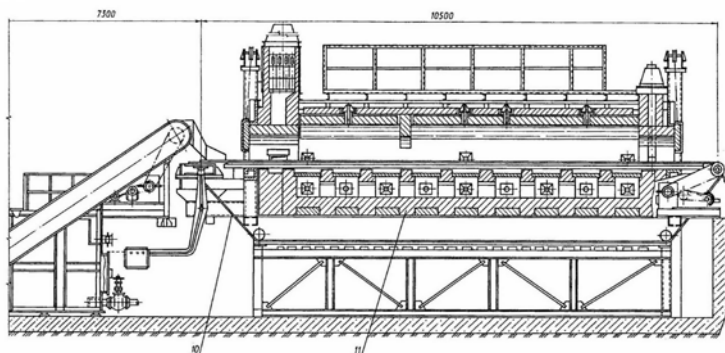


Рисунок 1 – Конструкция газопламенной печи конвейерного типа [1]

В отличие от приведенной на рисунке 1 схемы, тепловые агрегаты ОАО «БЕЛКАРД» имеют существенные конструктивные отличия. Так, дымоудаление в агрегатах устаревшей конструкции осуществляется через окна загрузки и выгрузки непосредственно под вытяжные зонты. В реконструированном агрегате дымоудаление осуществляется в первой зоне из нижней камеры печи (в реконструированном агрегате горелки в нижней камере между лентами отсутствуют). Преимуществом данной схемы является то, что газы, проходя вблизи нагреваемых деталей (имеющих в первой зоне невысокую температуру), эффективнее отдают свою теплоту деталям. Но при этом, охлаждаясь в нижней камере и разбавляясь холодным воздухом, продукты сгорания менее эффективно отдают теплоту подогреваемому в рекуператоре воздуху (поэтому температура подогрева воздуха всего 50 °С).

Повышению эффективности работы системы рекуперации для данной схемы будет способствовать обеспечение оптимальной конструкции каналов для удаления продуктов сгорания из рабочего пространства печи и из нижней камеры, а также герметизация нижней камеры печи в местах входа и выхода конвейерной ленты.

На рисунке 2 представлены результаты расчета количества подсосываемого воздуха в зависимости от перепада давления и площади сечения отверстий.

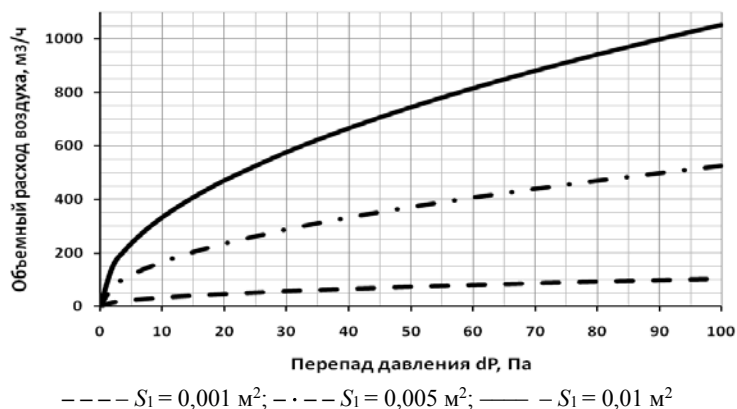


Рисунок 2 – Количество подсосываемого воздуха в зависимости от перепада давления и площади сечения отверстий

Из данных, приведенных на рисунке 2, следует, что при высокой мощности дымососа и отсутствии регулирования давления количество подсосываемого воздуха может превышать количество продуктов сгорания, удаляемых из закалочной печи в количестве около 500–580 м³/ч.

Для исследования преимуществ и недостатков отдельных конструктивных схем были применены методы математического моделирования.

В общем случае для описания движения вязкой ньютоновской жидкости применяются уравнения Навье-Стокса. Система состоит из уравнений движения и уравнений неразрывности. В векторном виде для несжимаемой ньютоновской жидкости они записываются следующим образом:

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial \tau} = -\rho(\vec{u} \cdot \nabla)\vec{u} + \eta \nabla^2 \vec{u} - \nabla p + \vec{f}; \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0, \quad (2)$$

где ρ – плотность, кг/м^3 ; \vec{u} – векторное поле скоростей, м/с ; τ – время, с ; η – динамическая вязкость, $\text{Па}\cdot\text{с}$; p – давление, Па ; \vec{f} – векторное удельное силовое поле, Н/м^3 .

В гидродинамике выделяют два основных типа течения жидкостей и газов – ламинарное и турбулентное. Для рассмотрения основных закономерностей движения газов в нагревательных печах используем упрощенную постановку (без рассмотрения моделей турбулентности) с использованием стабилизации в виде изотропной диффузии.

При решении тепловой задачи на верхней границе садки задаем постоянную температуру $20\text{ }^\circ\text{C}$, температура газов на выходе из горелочных устройств – $1550\text{ }^\circ\text{C}$.

На рисунках 3, 4 представлены температурные поля газов при задании граничного условия на поверхности конвейерной ленты, покрытой слоем деталей толщиной $0,1\text{ м}$ с температурой $20\text{ }^\circ\text{C}$.

Удаление газов для случая, представленного на рисунках 3, 4, осуществляется через свод в первой зоне печи. На рисунке 4, *а* представлено сечение в последней зоне печи, а на рисунке 4, *б* – в первой зоне у дымоотбора.

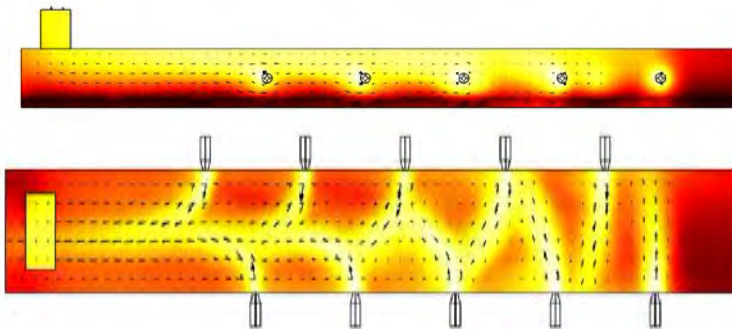




Рисунок 3 – Температура газов в продольных сечениях печи при удалении их через свод

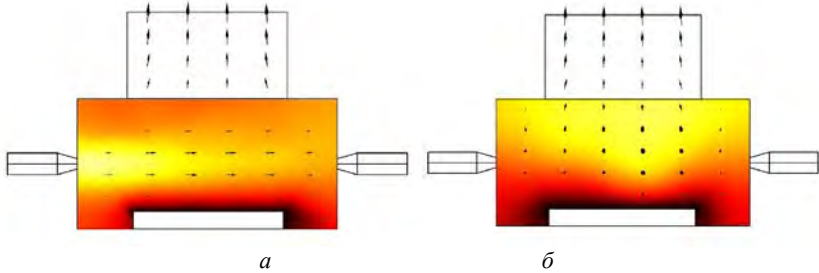


Рисунок 4 – Температура газов в поперечных сечениях печи при удалении их через свод

На рисунках 5–7 представлены поля скоростей газов по результатам моделирования газодинамического режима работы печи при удалении продуктов сгорания через нижнюю камеру.

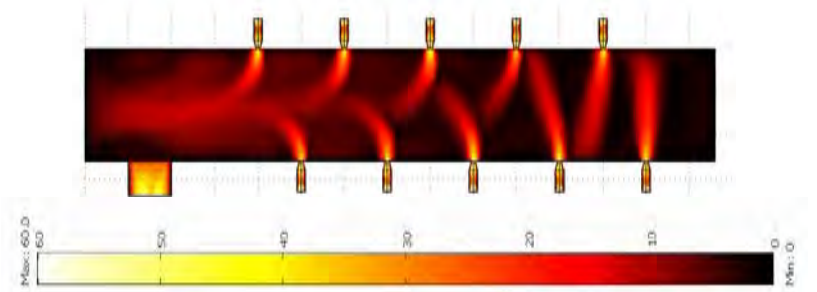


Рисунок 5 – Поля скоростей газов в продольных сечениях печи при удалении их через нижнюю камеру

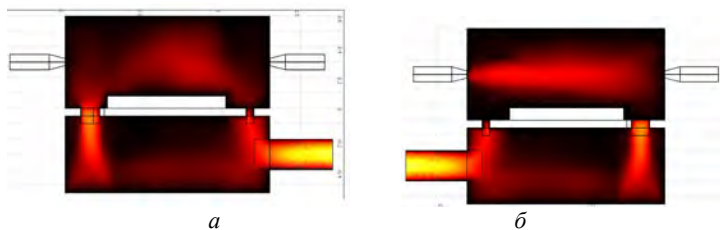


Рисунок 6 – Поля скоростей газов в поперечных сечениях печи при удалении их через нижнюю камеру печи

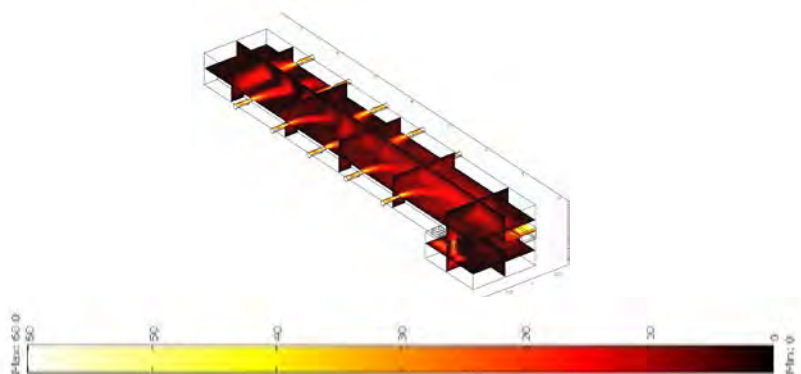


Рисунок 7 – Поля скоростей газов в сечениях печи при удалении их через нижнюю камеру печи

Результаты расчетов доказывают, что распределение скоростей продуктов сгорания по поверхности садки в первой зоне печи более равномерное, а значения скорости газов выше в случае удаления продуктов сгорания через нижнюю камеру печи.

Из рисунков 8, 9 также очевидно, что температура контактирующего в первой зоне печи с садкой газа также выше.

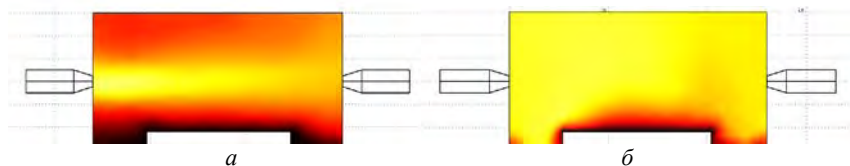


Рисунок 8 – Температура газов в поперечных сечениях печи при удалении их через нижнюю камеру печи в первой зоне

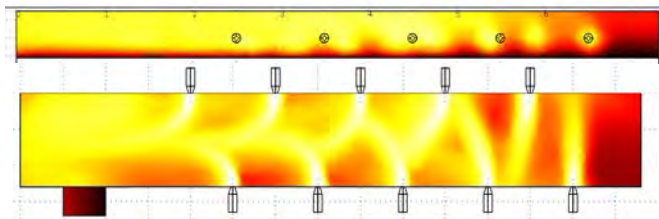


Рисунок 9 – Температура газов в продольных сечениях печи при удалении их через нижнюю камеру печи в первой зоне

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что при строительстве или реконструкции печей предпочтение следует отдавать схеме, приведенной на рисунках 10 и 11.

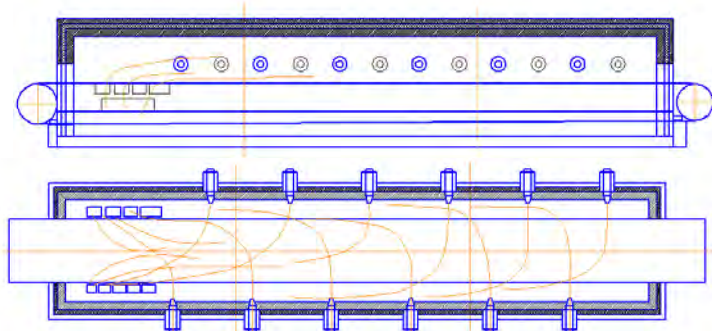


Рисунок 10 – Продольные сечения нагревательной печи конвейерного типа с оптимальной конструкцией дымоудаления

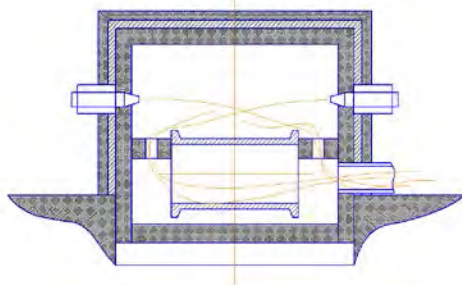


Рисунок 11 – Поперечное сечение нагревательной печи конвейерного типа с оптимальной конструкцией дымоудаления

Согласно этим схемам предлагается организовать отбор продуктов сгорания в первой отапливаемой зоне печи по обеим сторонам конвейерной ленты (с увеличением сечения каналов на противоположной от отверстия дымоотбора стороне), что позволит увеличить конвективную составляющую теплообмена нагреваемых изделий с печной средой (продуктами сгорания) за счет повышения скорости их движения вблизи заготовок. Одновременно необходимо снизить температуру в первой зоне печи (по показаниям рабочих термопар) на 15–20 % и обеспечить максимальную герметичность нижней камеры печи, в которой конвейерная лента совершает обратный ход. Данное усовершенствование позволит эффективнее использовать теплоту продуктов сгорания внутри печного пространства при сохранении необходимой производительности, а также повысить эффективность работы системы рекуперации.

Литература

1. Промышленные теплотехнологии: Печи и сушила машиностроительного и металлургического производства: учеб. / А.П. Несенчук [и др.]. – Минск: Выш. шк., 1999. – 238 с.

УДК 66.013.6

**П.Э. РАТНИКОВ, канд. техн. наук,
Д.В. МЕНДЕЛЕВ (БНТУ)**

ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПЛИВНО-КИСЛОРОДНЫХ РЕЖИМОВ СЖИГАНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВКАХ

В настоящее время к числу альтернативных источников энергии в теплотехнике следует отнести топливно-кислородные, а также комбинированные топливно-электрический и электрический источники энергии. Топливо-кислородный источник энергии открывает следующие возможности: