



*Компьютерное
моделирование,
теплогенератор,
теплоноситель*

*Computer modeling, heat
generator, thermal fluid*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛОГЕНЕРАТОРАХ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ПЕЧЕЙ

О.Г. Несиоловский (фото)

к.т.н., доцент, доцент кафедры технического сервиса
Р.Д. Адакин

старший преподаватель кафедры технического сервиса
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль

Исследуемый теплогенератор был разработан в ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА и является трёхходовым теплообменником, в котором первый ход представляет из себя камеру сгорания, присоединяемую к горелке, а два других – трубчатый теплообменник (рис. 1). Особенности конструкции и расчёт такого устройства рассмотрены авторами в более ранних работах [1, 2]. Горячий теплоноситель (продукты горения) перемещается внутри, а холодный – снаружи теплогенератора.

Главная особенность работы теплогенератора в хлебопекарной печи заключается в том, что ему приходится работать при различной влажности воздуха, циркулирующего в камере печи, что связано с особенностями технологии выпечки хлеба. Для того чтобы не пересушить выпекаемые хлебобулочные изделия в камеру впрыскивается вода, превращающаяся в пар. Помимо этого, вода и продукты брожения выделяются из выпекаемой хлебной массы в пространство камеры. Как следствие этих технологических процессов, коэффициенты теплопроводности и вязкости увлажнённого воздуха в 7–9 раз отличны от сухого воздуха. Отсюда вытекают и различные значения критериев Нуссельта и Рейнольдса при различной влажности воздуха в камере. Существенное влияние на эти критерии оказывает и скорость движения воздуха, циркулирующего внутри камеры печи. Исследовать влияние влажности воздуха и его скорости движения можно с помощью программы Solid Works с приложением Flow simulation.

Полученные таким образом данные подтверждались ранее проведёнными натурными испытаниями на хлебопекарной печи, что позволяет использовать их при проектировании теплогенератора.

Проводившееся моделирование основано на методе конечных элементов. Эта методика позволяет установить взаимосвязи ряда параметров в зависимости от скорости и влажности теплоносителя. Компьютерная модель теплогенератора геометрически аналогична теплогенератору, изображенному на рисунке 1. В задаваемых условиях учитывался также и материал, из которого он был изго-



а – теплогенератор

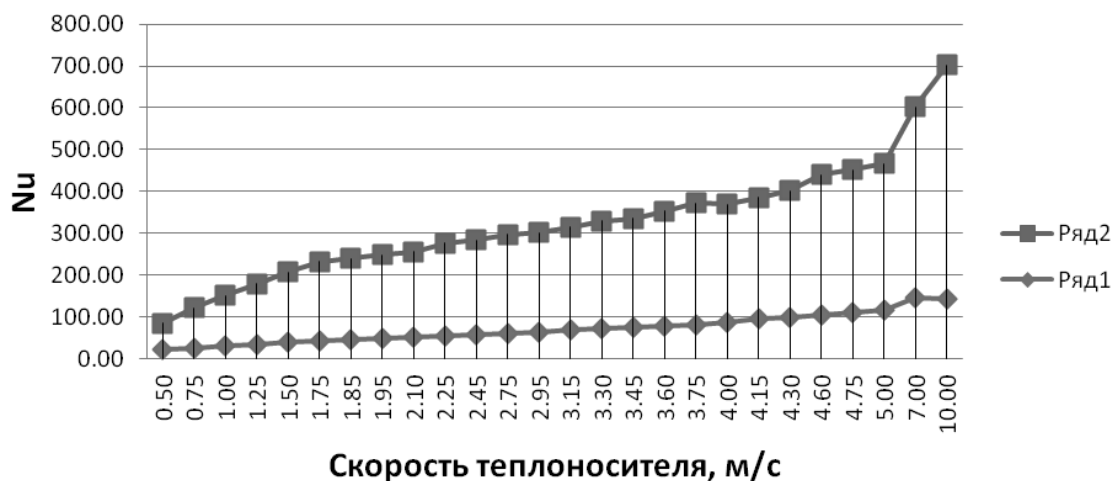


б – установка теплогенератора в печи

Рисунок 1 – Исследуемый теплогенератор

товлен. Модель обдувалась двумя различными холодными теплоносителями: влажным с влажностью 0,4 кг/кг и сухим с влажностью 0,05 кг/кг, для обоих случаев построены графики зависимости критерия Нуссельта (Nu) от скорости холодного теплоносителя (рис. 2). После анализа полученных данных были уточнены коэффициенты уравнения для определения критерия Нуссельта: $Nu = 23 \times Re^{0,33}$ – для влажного и $Nu = 1,83 \times Re^{0,65}$ – для сухого теплоносителей. При увеличении скорости обдува при влажном теплоносителе изменение теплового коэффициента полезного действия (КПД) имеет довольно сложный характер. Подъём значений имеет место в двух местах графика. Наибольшие зна-

чения КПД в этом случае имеет при скоростях 1–1,25 м/с и 4,15–4,6 м/с (рис. 3). С точки зрения технологии выпечки наилучшая скорость 1,75–2 м/с, при таком скоростном режиме КПД незначительно понижается. В случае сухого теплоносителя КПД теплогенератора постоянно растёт при увеличении скорости обдува. При увеличении скорости обдува средняя температура поверхности теплогенератора падает, а температура холодного теплоносителя меняется мало (рис. 4). Характер изменения графика и значений температур практически одинаковы для влажного и для сухого воздуха, поэтому на графике приводятся значения лишь для сухого теплоносителя.



Ряд 1 – при сухом теплоносителе; Ряд 2 – при влажном теплоносителе.

Рисунок 2 – Зависимость критерия Нуссельта от скорости воздуха (холодного теплоносителя)



Ряд 1 – при влажном теплоносителе; Ряд 2 – при сухом теплоносителе.

Рисунок 3 – Зависимость КПД теплогенератора от типа холодного теплоносителя

Помимо моделирования условий обдува при различных скоростях и влажности холодного теплоносителя, были проведены работы по изучению влияния изменения конструкции теплогенератора на его работу. Было исследовано влияние расположения трубок в теплообменной части на КПД. При моделировании работы с рядным и шахматным расположением трубок КПД в последнем случае вырос на 13%.

Была проверена эффективность обдува теплогенератора при различном сочетании тока горячего и холодного теплоносителей. Как и предполагалось, наибольшие значения КПД были получены при противотоке теплоносителей.

Определённый интерес представляет исследование по организации потока холодного теплоносителя через теплообменную часть. Изменение потока достигалось с помощью дефлек-

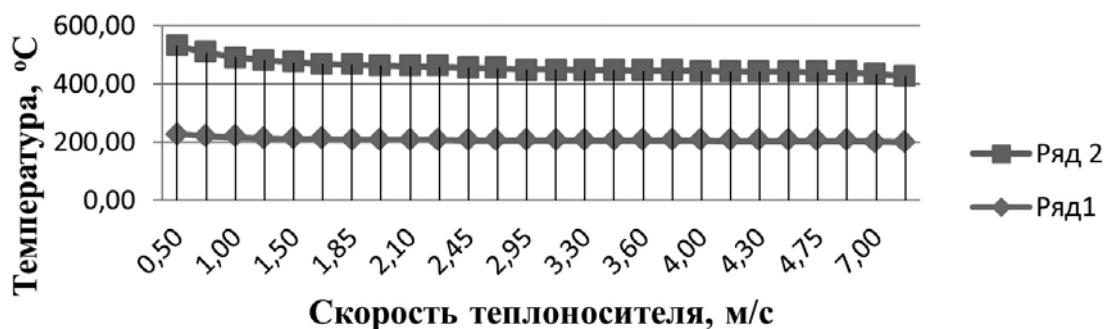
торов (пластин, направляющих поток теплоносителя). Пример одного из вариантов представлен на рисунке 5.

При моделировании была выявлена ошибка конструкции подобных теплогенераторов. Как правило, продукты сгорания на выходе из теплогенератора вместо охлаждения дополнительно подогреваются более нагретыми и теплоизолированными частями, что негативно сказывается на эффективности. Исправление этого дефекта позволяет поднять в некоторых случаях КПД на 19%.

В целом использование рекомендаций, полученных в ходе экспериментов с моделированием, может повысить КПД до 80%.

Выводы

1. Компьютерное моделирование существенно увеличивает возможности исследования



Ряд 1 – температура сухого теплоносителя; Ряд 2 – средняя температура поверхности теплогенератора.

Рисунок 4 – Зависимость средних значений температур поверхности теплогенератора и холодного теплоносителя от скорости холодного сухого теплоносителя

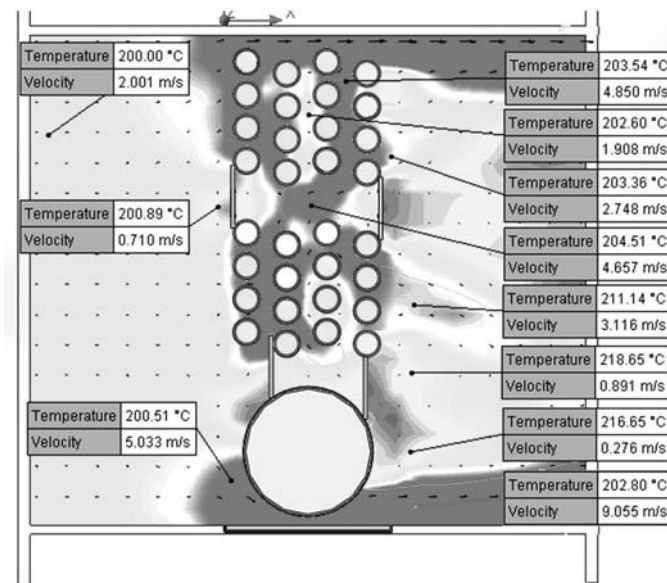


Рисунок 5 – Пример установки дефлекторов при поперечном обдуве слева направо теплогенератора с шахматным расположением трубок

тепловых процессов, связанных с теплогенератором хлебопекарной печи. Натурные испытания не позволили бы получить такой объём исследовательского материала из-за больших временных и материальных затрат. В то же время можно утверждать, что определенный объём натурных испытаний обязательно требуется для сравнения и подтверждения результатов компьютерного моделирования.

2. Компьютерное моделирование позволяет исследовать конструкцию, выявить её наилучшие варианты и скрытые дефекты, которые другим путём определить трудно и дорого.

3. Рекомендации, полученные по результатам анализа моделирования, позволяют поднять КПД теплогенератора до 80%, что применительно к подобным устройствам является очень хорошим результатом, так как их КПД обычно не превышает 70%.

Литература

1. Несиоловский, О.Г. Некоторые особенности теплового расчёта теплогенераторов малой мощности [Текст] / О.Г. Несиоловский, Р.Д. Адакин // История и перспективы развития транспорта на севере России: материалы 6 Всеросс. научно-практ. конф., 8 июня 2017 г. – Ярославль, 2017. – С. 156–158.
2. Несиоловский, О.Г. Пути интенсификации тепловых характеристик теплогенераторов малой мощности [Текст] / О.Г. Несиоловский, Р.Д. Адакин // Вестник АПК Верхневолжья. – 2013. – № 3 (23). – С. 69–72.

References

1. Nesiolovskij, O.G. Nekotorye osobennosti teplovogo raschjota teplogeneratorov maloj moshhnosti [Tekst] / O.G. Nesiolovskij, R.D. Adakin // Istorija i perspektivy razvitija transporta na severe Rossii: materialy 6 Vseross. nauchno-prakt. konf., 8 ijunja 2017 g. – Jaroslavl', 2017. – S. 156–158.
2. Nesiolovskij, O.G. Puti intensivifikacii teplovyh harakteristik teplogeneratorov maloj moshhnosti [Tekst] / O.G. Nesiolovskij, R.D. Adakin // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2013. – № 3 (23). – S. 69–72.