

УДК 536.24

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕГЕНЕРАТОРА С НЕПОДВИЖНОЙ КИРПИЧНОЙ НАСАДКОЙ

Н.Н. ЕЛИН, д-р техн. наук, М.Ю. ОМЕТОВА, канд. техн. наук, Г.В. РЫБКИНА, инж.

Представлены результаты апробации инженерного метода расчета конвективно-радиационного теплообмена в регенеративных теплообменниках. Даны практические рекомендации по повышению энергетической эффективности промышленной печи.

Ключевые слова: регенератор, теплообменник, эксперимент.

EXPERIMENTAL CHECK OF MATHEMATICAL MODEL OF REGENERATOR WITH IMMOVABLE BRICK NOZZLE

N.N. YELIN, Doctor of Engineering, M.Yu. OMETOVA, Candidate of Engineering, G.V. RYBKINA, Engineer

The authors present the approbation results of the engineering method of convection and radiation heat exchange in regenerative heat exchangers. Practical recommendations on increasing the power efficiency of the industrial furnace are made.

Keywords: regenerator, heat exchanger, experiment.

В работе [1] представлена математическая модель нестационарного циклического процесса конвективно-радиационного теплообмена в регенеративном теплообменнике с неподвижной кирпичной насадкой, а также предложена инженерная методика его расчета, построенная на основе использования этой модели, дополненной эмпирическими замыкающими соотношениями для коэффициентов тепло- и массопереноса и теплофизических свойств теплоносителей.

Для проверки адекватности предложенной методики использовались экспериментальные данные, полученные при обследовании стекловаренной печи ванного типа, оборудованной регенеративными теплообменниками для нагрева воздуха уходящими дымовыми газами. Такие аппараты имеют сравнительно небольшие габариты, и в настоящее время тепловая эффективность их остается невысокой.

На действующей печи проведено тепловизионное обследование огнеупора с целью определить его степень износа и остаточный ресурс. В ходе экспериментального обследования температура теплоносителей замерялась контактным способом на 4-х уровнях по высоте насадки. Кроме температурных полей в теплоносителях и в насадке исследовалось аэродинамическое сопротивление воздухопроводов и дымового тракта. Обнаружено, что сопротивление насадки изменилось незначительно, т.е. поверхность насадки частично покрыта пылью. Техническое состояние печи признано характерным для данного режима работы.

Исследуемая насадка регенеративного теплообменника изготовлена из шамотного кирпича в виде сплошных горизонтальных каналов размера 100×100 мм, высота насадки – 2 м, толщина стенки – 60 мм. Температура продуктов сгорания на выходе из рабочего

пространства составляет 900 °С. Температура уходящих дымовых газов, рассчитанная по тепловому балансу, – 400 °С. Воздух подается в печь без предварительного нагрева с температурой 20 °С. Время, в течение которого происходит нагрев насадки (дымовой период), равно длительности охлаждения насадки (воздушный период).

Для практических целей главный интерес представляют температурные поля в насадке и теплоносителях. Данная информация необходима для принятия мер:

1) по предотвращению конденсации водяных паров на поверхности насадки;

2) недопущению превышения значений температуры насадки заданных пределов.

Для наилучшего совпадения экспериментальных и расчетных данных проводилась адаптация математической модели к реальным условиям работы регенератора за счет учета следующих факторов:

1) корректировки теплофизических параметров теплоносителей и насадки:

– зависимость коэффициентов теплоотдачи теплоносителей по высоте теплообменника определялась с учетом увеличения степени турбулизации потока на начальном участке шахты;

– увеличили степень черноты поверхности кирпича с 0,6 до 0,7, что является допустимым, так как при работе регенератора поверхность насадки покрывается сажей.

2) учета потерь теплоты через торцевые поверхности теплообменного аппарата, которые составляют 5–6 %.

На рис. 1 показано распределение средних температур теплоносителя и насадки по длине канала. Отмечено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных. Расхождение не превышает 5–7 %.

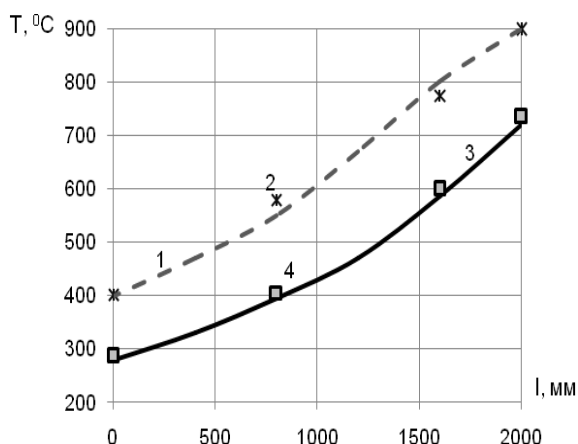


Рис. 1. Распределение средних температур теплоносителей и насадки по длине теплообменного аппарата в дымовой период: 1, 3 – температуры горячего теплоносителя и насадки по результатам расчета; 2, 4 – температуры горячего теплоносителя и насадки по результатам эксперимента

На основании результатов сравнения можно рекомендовать методику, предложенную в [1], для расчета нестационарного конвективно-радиационного теплообмена в регенеративных теплообменниках и в качестве основы решения задач оптимизации их конструктивных и режимных параметров.

Анализ существующей конструкции стекловаренной печи показал, что исполнение основных ее устройств (в том числе и регенераторов) не обеспечивает максимальную эффективность печи. Существенное влияние на эффективность регенеративных теплообменников оказывают продолжительность цикла и конструктивные характеристики насадки [2]. Нами исследовалось влияние этих параметров на тепловую мощность регенератора с помощью методики, предложенной в [1].

Для повышения их эффективности при модернизации стекловаренной печи предлагаются следующие технические решения:

- изменить продолжительность полуциклов нагрева и охлаждения насадки;
- изменить геометрические размеры живого сечения для прохода теплоносителей.

Расчеты показали, что максимальная тепловая мощность регенератора, обеспечивающая максимальную степень утилизации теплоты уходящих продуктов сгорания топлива, достигается при времени полуцикла около 300 с. Однако в настоящее время печь эксплуатируется при времени полуцикла 400 с.

Кроме изменения продолжительности цикла в процессе модернизации печи целесообразно изменить геометрические размеры ячейки для прохода теплоносителей. На данной модели исследовались различные варианты конструктивного исполнения насадки. Поиск оптимальной формы проходного сечения про-

водился путем вычислительного эксперимента при постоянной площади живого сечения канала. Наиболее эффективной формой для прохода теплоносителей является канал с соотношением сторон 1: 4.

При продолжительности цикла 300 с и данных геометрических размерах температура дымовых газов на выходе из регенератора не будет превышать 200 °С, что позволит исключить конденсацию паров на поверхности насадки теплообменного аппарата. При температуре дымовых газов на выходе из регенератора 200 °С коэффициент использования топлива (КИТ) составит около 0,85. При нынешнем режиме эксплуатации температура уходящих дымовых газов составляет 230 °С, а КИТ = 0,72.

Предлагаемые выше рекомендации позволят увеличить температуру воздуха на 35 °С (до 530 °С), что даст экономию используемого топлива до 2,5 %. Дальнейшее увеличение температуры подогрева воздуха приведет к неоправданному увеличению стоимости теплообменного аппарата. Придется использовать более дорогостоящие огнеупорные материалы или увеличивать длину теплообменного аппарата (которая ограничена конструкцией печи).

Предлагаемые режимные и геометрические мероприятия позволят при модернизации действующего регенератора повысить его тепловую мощность (рис. 2).

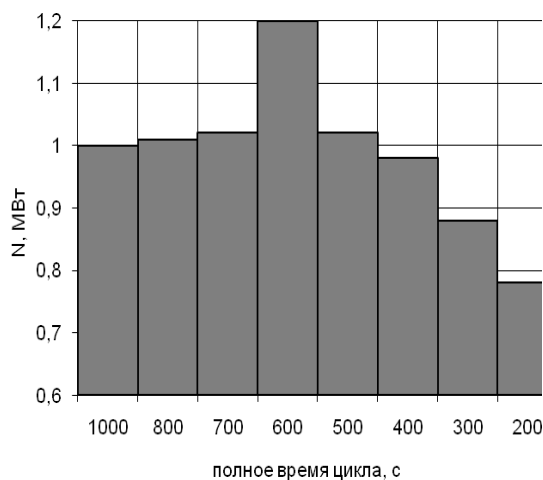


Рис. 2. Зависимость тепловой мощности регенератора от продолжительности времени цикла

Список литературы

1. Елин Н.Н., Рыбкина Г.В., Ометова М.Ю. Моделирование циклически сопряженного теплообмена в регенеративном воздухоподогревателе // Вестник ИГЭУ. – 2010. – Вып. 2. – С. 22–25.
2. Китаев Б.И., Зобин Б.Ф., Ратников В.Ф. Теплотехнические расчеты металлургических печей. – М.: Металлургия, 1970.

Елин Николай Николаевич,
Ивановский государственный архитектурно-строительный университет,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой гидравлики и водоснабжения,
телефон (4932) 41-61-22.

Ометова Мария Юрьевна,
Ивановский государственный архитектурно-строительный университет,
кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлики и водоснабжения,
телефон (4932) 47-20-13.

Рыбкина Галина Владимировна,
Ивановский государственный архитектурно-строительный университет,
инженер,
телефон (4932) 46-15-26.